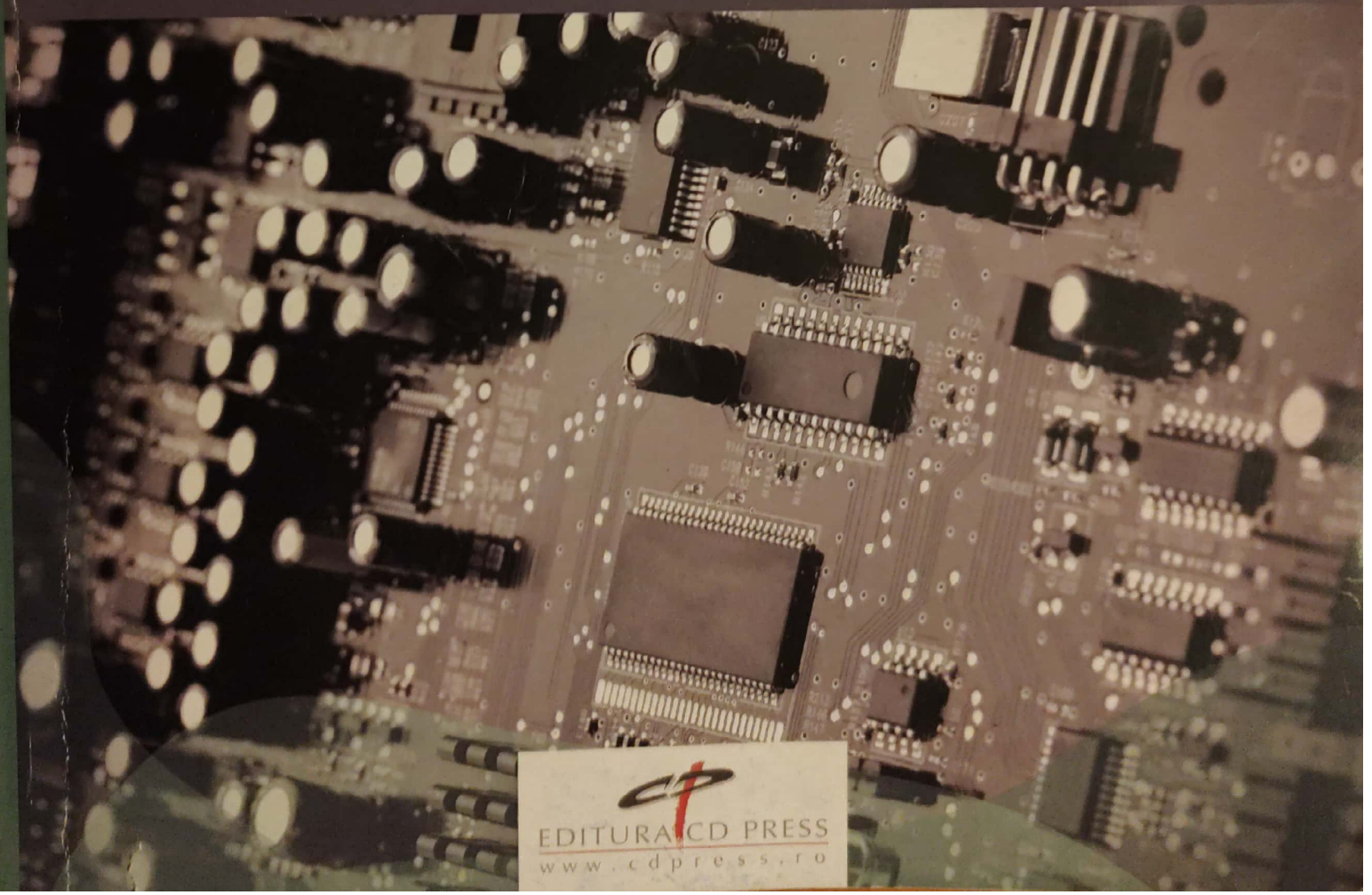
Carmen-Liliana Gheață Dragoș Ionel Cosma Carmen Mușat

10

BAZELE ELECTRONICII ANALOGICE

Filieră **TEHNOLOGICĂ**. Profil **TEHNIC**
Domeniu de pregătire profesională:
ELECTRONICĂ AUTOMATIZĂRI



EDITURA CD PRESS
www.cdpress.ro

Scanned with OKEN Scanner

Carmen-Liliana Gheață
Dragoș Ionel Cosma
Carmen Mușat

Bazele electronicii analogice

Filieră tehnologică
Învățământ liceal și profesional
Domeniul de pregătire profesională:
Electronică automatizări

EDITURA CD PRESS
www.cdpress.ro

Scanned with OKEN Scanner

BAZELE ELECTRONICII ANALOGICE. Clasa a X-a
Editor: dr. Costin DIACONESCU
Tehnoredactor: Corina Ioana VOINEA
Layout copertă: Simona RADU-IACOBINI
Foto copertă: Dreamstime
Desene, fotografii, scheme: Carmen-Liliana GHEAŢĂ, Dragoş Ionel COSMA, Carmen MUŞAT

© Copyright CD PRESS 2019

ISBN: 978-606-528-473-9

Această lucrare este protejată de legile române şi internaţionale privind drepturile de autor, drepturile conexe şi celelalte drepturi de proprietate intelectuală. Nicio parte a acestei lucrări nu poate fi reprodusă, stocată ori transmisă, sub nicio formă, fără acordul expres al Editurii CD PRESS.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
GHEAŢĂ, CARMEN LILIANA
Bazele electronicii analogice - 10 : filieră tehnologică : învăţământ liceal şi profesional : domeniul de pregătore profesională Electronică automatizări / Carmen-Liliana Gheaţă, Dragoş Ionel Cosma, Carmen Muzat. - Bucureşti : CD Press, 2019
Conţine bibliografie
ISBN 978-606-528-473-9

I. Cosma, Dragoş Ionel
II. Muşat, Carmen

621

EDITURA CD PRESS
www.cdpress.ro
REVISTE • CARTE ŞCOLARĂ • MANUALE DIGITALE • DOTĂRI ŞCOLARE
Prima alegere în domeniul produselor
şi al proiectelor educaţionale româneşti
de calitate pentru şcoală şi familie

Scanează codul şi consultă catalogul complet de titluri al Editurii CD PRESS.

Editura CD PRESS
Bucureşti, str. Logofătul Tăutu nr. 67,
sector 3, cod 031212
Tel.: 021.337.37.17, 021.337.37.27, 021.337.37.37
Fax: 021.337.37.57
e-mail: office@cdpress.ro
• www.cdpress.ro • Editura CD PRESS

Comenzi:
office@cdpress.ro
021.337.37.37
www.cdpress.ro

Modulul *Bazele electronicii analogice* a fost realizat în conformitate cu programa şcolară pentru clasa a X-a, cuprinsă în Anexa 2 la OMENCS nr. 3915/18.05.2017.

Scanned with OKEN Scanner

CUVÂNT-ÎNAINTE

„Mintea nu-i un vas care să fi e umplut, ci un foc care trebuie întreţinut."
Plutarch

Ca ştiinţă, electronica se ocupă cu studiul şi aplicaţiile fenomenelor legate de mişcarea purtătorilor de sarcină electrică în semiconductoare, în vid şi în gaze rarefiate. Electronica, ca ştiinţă fundamentală, are ca scop principal cunoaşterea dispozitivelor existente şi elaborarea unor noi dispozitive. Ca ştiinţă aplicată, electronica se ocupă de studiul circuitelor electronice, care pot fi privite ca aplicaţii ale dispozitivelor electronice. În general, electronica analogică utilizează mărimi fizice care pot lua valori continue.

Plecând de la aceste considerente, acest manual îşi propune să familiarizeze elevul cu câteva concepte de bază şi cu tehnologia utilizată. Se prezintă elementele de circuit mai importante şi configuraţia unor circuite. La analiza circuitelor se vor utiliza cu precădere legea lui Ohm şi legile lui Kirchhoff aplicate în curent continuu, dar şi în curent alternativ.

Manualul este folositor tuturor acelora care vor să înţeleagă în profunzime principiile şi funcţionarea dispozitivelor electronice şi ale circuitelor electronice. Lucrarea prezintă probleme fundamentale ale domeniului, precum şi unele tendinţe moderne în evoluţia dispozitivelor electronice, fiind accesibilă celor interesaţi de domeniul abordat.

Conţinutul manualului acoperă programa de învăţământ şi aduce, pe lângă conţinuturi teoretice şi practice, numeroase exemple practice, precum şi teste de evaluare şi aplicaţii pentru fiecare capitol. Pentru parcurgerea părţii aplicative a manualului sunt necesare câteva resurse materiale minime, precum: componente electronice discrete, aparate de măsură şi control, module pentru studiul experimental al componentelor şi al circuitelor, plăci de test, surse de alimentare, generatoare de semnal, softuri educaţionale etc.

Se recomandă abordarea conţinuturilor într-o manieră flexibilă şi diferenţiată, ţinând cont de particularităţile colectivului de elevi cu care se lucrează şi de nivelul iniţial de pregătire. În funcţie de dificultatea temelor, de nivelul de cunoştinţe anterioare ale colectivului de elevi, de complexitatea materialului didactic şi de ritmul de asimilare a cunoştinţelor, rămâne la latitudinea cadrului didactic alocarea numărului de ore pentru fiecare conţinut.

De asemenea, pentru cei care vor să aprofundeze materialul, este indicat ca, după parcurgerea părţii teoretice, să rezolve testele de evaluare, aplicaţiile sau proiectele propuse. Astfel, se obţine implicarea elevului şi se scurtează calea spre înţelegerea aplicaţiilor simple de electronică, acesta fiind primul pas pentru viitorul electronist. Abordarea sistemelor electronice actuale trebuie să ţină seama de prezentarea noţiunilor fundamentale din electronică pe care trebuie să le cunoască un adevărat specialist şi pe care trebuie să le adapteze la situaţiile concrete care apar în practică.

Formarea unor deprinderi într-un domeniu dinamic şi complex precum electronica este o strategie importantă, care trebuie să ţină seama de modificările care apar foarte des. Valorificarea cunoştinţelor fundamentale presupune cunoaşterea la zi a situaţiei şi a tendinţelor de dezvoltare. Această etapă este destul de dificilă pentru orice viitor specialist şi presupune o informare continuă şi un studiu susţinut.

Manualul *Bazele electronicii analogice* vizează dobândirea de competenţe specifice în domeniul electronică şi automatizări.

Scanned with OKEN Scanner

Manualul a fost structurat în 6 capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 – Tehnologii de realizare a circuitelor electronice

Capitolul 2 - Materiale semiconductoare. Joncțiunea pn

Capitolul 3 – Diode

Capitolul 4 – Tranzistoare

Capitolul 5 – Dispozitive optoelectronice

Capitolul 6 – Circuite electronice simple

Pentru a veni în sprijinul elevilor, lucrarea se încheie cu câteva anexe conținând date de catalog ale principalelor dispozitive electronice. Trebuie încurajate, astfel, activitățile bazate pe efortul individual al elevului, precum: documentarea după diverse surse de informare, observația proprie, exercițiul personal, experimentul și lucrul individual, munca cu fișele de lucru etc., astfel încât metodele de informare și de documentare independentă să-i ofere acestuia deschiderea spre autoinstruire și învățare continuă.

În ritmul accelerat în care ne mișcăm, nu trebuie să disperăm și nu trebuie să ne simțim îngrijorați de schimbările din jur.

Experiența și perspectiva sunt elemente unice ale personalității fiecăruia din noi. Suntem mai flexibili decât orice s-ar crede, totul este să credem în noi și să avem întotdeauna o atitudine pozitivă.

Cu atât mai mult, având lângă noi un aluat fraged, trebuie să știm să-l modelăm în acord cu năzuințele tinerilor și stilul lor de viață trepidant și să ținem seama că nu este destul să știi, trebuie să și aplici, nu este destul să vrei, trebuie să și faci.

Alegerea materialelor, modul de abordare a subiectelor teoretice și practice tratate, elaborarea testelor de evaluare și a aplicațiilor se bazează pe experiența profesională și pe realizările experimentale proprii ale autorilor.

Mulțumim Editurii CD PRESS pentru receptivitatea și profesionalismul manifestat în editarea lucrării.

Autorii

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINS

Cuvânt-înainte 3
Introducere 7
Capitolul 1. Tehnologii de realizare a circuitelor electronice 8
1.1. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice cablate cu fire (wire wrapping) 8
1.2. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice în regim de prototip pe plăci de tip breadboard 11
1.3. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice pe plăci cablaj imprimat – PCB 13
Lucrare de laborator 20
Fişă tehnologică 21
1.4. Tehnologii de evacuare a căldurii în circuitele electronice 22
1.5. Tehnologia SMD 24
Fişă de lucru 26
Aprofundare 27
Fişă tehnologică 27
1.6. Norme de sănătate şi securitate în muncă specifice 29
Fişe de documentare 30
Fişă de lucru 33
1.7. Norme de protecţie a mediului specifice 34
Fişă de documentare 36
Evaluarea cunoştinţelor 37

Capitolul 2. Materiale semiconductoare. Joncţiunea pn 38
2.1. Materiale semiconductoare 38
2.2. Electroni liberi şi goluri 38
2.3. Semiconductoare cu impurităţi 39
2.4. Difuzia purtătorilor de sarcină 40
Evaluarea cunoştinţelor 41
2.5. Joncţiunea pn 42
2.6. Joncţiunea pn în echilibru 42
2.7. Joncţiunea pn în polarizare directă 43
2.8. Joncţiunea pn în polarizare inversă 44
2.9. Străpungerea joncţiunii pn 44
2.10. Caracteristica statică a joncţiunii pn 45
2.11. Dependenţa de temperatură a caracteristicii statice a joncţiunii pn 46
2.12. Comportarea joncţiunii pn în regim dinamic 46
Evaluarea cunoştinţelor 48

Capitolul 3. Diode 50
3.1. Definiţie 50
3.2. Parametrii diodelor 50
3.3. Aspectul fizic şi marcarea diodelor 52
3.4. Tipuri de diode 54
3.4.1. Diode redresoare 54
Fişe de lucru 60
3.4.2. Dioda detectoare 64
3.4.3. Dioda stabilizatoare 66
3.4.4. Diode varicap 68
Fişă de lucru 70
Evaluarea cunoştinţelor 71
Lucrări de laborator 75
Simulare cu ajutorul calculatorului 80
Evaluarea cunoştinţelor 82
Fişe tehnologice 82
Studiu de caz 84

Capitolul 4. Tranzistoare 85
4.1. Introducere 85
4.2. Tipuri de tranzistoare 86
4.3. Clasificarea tranzistoarelor după puterea disipată 86
4.4. Clasificarea tranzistoarelor după frecvenţa de lucru 87
4.5. Tranzistorul bipolar 87
4.5.1. Aspect fizic 88
4.5.2. Marcarea tranzistoarelor 88
Fişă de lucru 88
4.5.3. Conexiunile tranzistorului 88
4.5.4. Principiul de funcţionare al tranzistoarelor 89
4.5.5. Ecuaţiile fundamentale ale tranzistorului 91
4.5.6. Caracteristici statice de funcţionare ale tranzistorului 92
Fişă de lucru 93
4.5.7. Regimuri de funcţionare 94
Fişă de lucru 95
4.5.8. Parametrii specifici tranzistoarelor. Valori-limită de utilizare 96

Scanned with OKEN Scanner

4.5.9. Influența temperaturii asupra caracteristicilor electronice 98
Fișă de lucru 98
4.5.10. Polarizarea tranzistorului în regiunea activă normală 98
4.5.11. Verificarea tranzistoarelor 102
Fișă de lucru 103
4.5.12. Funcționarea tranzistorului în curent alternativ 104
4.5.13. Comportarea tranzistorului în funcție de frecvență 105
Evaluarea cunoștințelor 106
Lucrări de laborator 110
Simulare cu ajutorul calculatorului 119
Lucrare practică 120
Proiect 121
Studiu de caz 122
4.6. Tranzistorul cu efect de câmp 123
4.6.1. Tranzistoare cu efect de câmp cu joncțiuni – TEC-J 123
4.6.2. Tranzistoare MOS 126
4.6.3. Precauții în manipularea tranzistoarelor MOSFET 128
4.6.4. Comparație între TEC-J și TEC-MOS 128
4.6.5. Comparație între tranzistorul cu efect de câmp și tranzistorul bipolar 129
Evaluarea cunoștințelor 130
Lucrare de laborator 133
Studiu de caz 135

Capitolul 5. Dispozitive optoelectronice 136
5.1. Fotorezistorul 136
5.2. Fotodioda 137
5.3. Fototranzistorul 139
5.4. Dioda electroluminescentă 140
5.5. Conectarea LED-urilor în circuit 144
5.6. Dioda LASER 144
5.7. OLed – Organic Light-Emitting Diode 145
5.8. Optocultorul 146
5.9. Fotoelementul 147
5.10. Dispozitive cu cristale lichide 149
5.11. Afișajul digital 150
Evaluarea cunoștințelor 151
Lucrări de laborator 155
Studiu de caz 160

Capitolul 6. Circuite electronice simple 161
6.1.Surse de alimentare 161
Evaluarea cunoștințelor 168
Fișă de lucru 169
Studiu de caz 171
Lucrări practice 172
Fișă de lucru 180
Evaluarea cunoștințelor 181
Lucrări de laborator 185
Aprofundare 190
Studiu de caz 190
Proiect 192
6.2. Amplificatoare 192
Evaluarea cunoștințelor 204
Lucrare de laborator 209
Simulare cu ajutorul calculatorului 215
Lucrare practică 217
Proiect 218
Anexe 221

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Introducere

Electronica s-a născut ca o ramură a electrotehnicii şi studiază fenomenele legate de comportarea sarcinilor electrice în diferite medii.

Ştiaţi că ...?

În evoluţia electronicii, două date sunt de o deosebită importanţă: anul 1906 şi anul 1948.
În anul 1906, Lee de Forest a creat trioda cu vid, invenţie care a marcat naşterea electronicii ca disciplină. În anii care au urmat, tuburile electronice au cunoscut perfecţionări continue.

În anul 1948, John Bardeen, Walter Brattain şi William Shockley au inventat tranzistorul, care a reprezentat o adevărată revoluţie în dezvoltarea electronicii.

Aplicaţiile vaste ale electronicii se datorează gamei foarte largi de variaţie a mărimilor electrice cu care se poate opera: de la curenţi extrem de mici, de ordinul nanoamperilor (nA), la curenţi de ordinul zecilor de kiloamperi; curenţii pot fi continui, de frecvenţă joasă (câţiva hertzi), de audiofrecvenţă (kHz), radiofrecvenţă (MHz) sau ultraînaltă frecvenţă (GHz).

Dispozitivele electronice sunt acele componente ale circuitelor a căror comportare se bazează pe controlul mişcării purtătorilor de sarcină în corpul solid, în gaze sau în vid. Acest control se poate exercita prin **câmpul electric** care apare datorită unei diferenţe de potenţial. În felul acesta, tensiunea aplicată din exterior controlează mărimea curentului care „curge" prin dispozitiv. Controlul curentului poate fi realizat şi prin efectul unui flux luminos asupra numărului de purtători de sarcină dintr-o anumită zonă a dispozitivului. Acesta este cazul dispozitivelor optoelectronice. Un alt caz particular este controlul exercitat pe cale termică, cum este cazul termistoarelor, termorezistenţelor etc. De asemenea, controlul se poate realiza şi pe cale magnetică, ca în cazul magnetorezistenţei sau al dispozitivelor cu efect Hall.

Circuitele care folosesc dispozitive electronice se numesc **circuite electronice.**

Aceste circuite pot realiza anumite funcţii specifice. Funcţiile electronice se pot împărţi în două mari categorii:

a) **Controlul şi conversia energiei:**
- redresare;
- stabilizare;
- amplificare etc.

b) **Prelucrarea şi transmisia semnalelor electrice purtătoare de informaţii:**
- modulare;
- demodulare;
- generare de semnale;
- amplificare etc.

Observaţie

Nu se poate face o separare între cele două funcţii ale circuitelor electronice; de obicei, acestea se întrepătrund.

Capitolul 1
Tehnologii de realizare a circuitelor electronice

1.1. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice cablate cu fire (wire wrapping)

Lucrările de montare şi asamblare a componentelor şi blocurilor funcţionale ocupă un loc important în procesul de realizare a echipamentelor electronice. Aceste operaţii includ dispunerea şi fixarea pieselor pe suporturi şi realizarea interconexiunilor între terminale în conformitate cu schema electrică. Astfel, realizarea circuitelor presupune în primul rând realizarea contactelor electrice între terminale sau între terminale şi conductoarele de conexiune.

Prin realizarea unui *contact electric* se înţelege alăturarea sau îmbinarea a două conductoare astfel încât să se asigure circulaţia curentului electric.

După frecvenţa conectărilor, se deosebesc:

1. *contacte permanente*, care pot fi:

- *contacte inamovibile*, care pot fi desfăcute numai prin distrugerea elementelor; de exemplu: contactele realizate prin sudare, strivire, sertizare;
- *contacte amovibile*, care pot fi desfăcute fără distrugerea elementelor, dar cu ajutorul unor scule speciale; de exemplu: contactele prin lipire, răsucire, cu cleme.

2. *contacte prin fişe*, capabile să reziste la cel puţin 1000 de acţionări (închideri/deschideri), dar numai în lipsa curentului prin contact; de exemplu: mufe, conectori.

3. *contactele întrerupătoare*, care suportă cel puţin 10^6 acţionări în prezenţa curentului prin contacte; de exemplu: întrerupătoarele şi comutatoarele de variate tipuri.

În electronică, contactele au diverse utilizări:

- *contactele inamovibile* se folosesc frecvent în fabricarea componentelor, pentru fixarea terminalelor, a conductoarelor de legătură la terminalele circuitelor integrate etc.;
- *contactele amovibile* în anumite condiţii sunt utilizate mai des la fabricarea montajelor, la asamblarea circuitelor pe cablaje imprimate, uneori şi la fabricarea componentelor;
- *contactele prin fişe* sunt utilizate, de regulă, pentru interconectarea subansamblelor;
- *contactele întrerupătore* sunt folosite pe alimentări, pentru comutarea căilor de curent, a funcţiilor şi operaţiilor.

Pentru realizarea contactelor între terminalele fişelor se utilizează conductoare filare sau imprimate. Totalitatea conductoarelor de interconexiune dintr-un montaj, circuit, aparat electronic formează *cablajul* sistemului respectiv.

Conductoarele electrice pentru interconexiuni pot fi: filare (cabluri) sau imprimate.

În prezent, aproape toate conductoarele de interconexiune se realizează din cupru electrotehnic, cu mare puritate (peste 99,5%). De regulă, după tragerea în fire se procedează la o recoacere care face metalul ductil (moale) şi îi reduce rezistivitatea.

Conductoare din alte metale (Au, Ag, ...) se folosesc în circuite integrate şi foarte rar în alte aplicaţii. În schimb, adesea conductoarele din cupru sunt metalizate, prin acoperire cu o peliculă subţire din metal greu oxidabil (Ag, Au, ...) sau cu rezistivitatea ρ mică (Sn) şi care favorizează lipirea (Ag, Sn).

Conductoarele filare se clasifică în:

- *Cablurile masive*, izolate sau nu, metalizate (stanate, argintate) sau nu, sunt din cupru recopt (moale, cu rezistivitate mică) sau tras la rece (mai elastic, cu rezistivitate ceva mai mare). Conductoarele masive au flexibilitate redusă şi nu suportă îndoiri sau răsuciri repetate.
- *Cablurile liţate* sunt formate din mai multe fire (3 ...15 fire cu diametru Φ cuprins între 0,1 ... 0,5 mm) strânse în mănunchi şi uşor torsadate. De regulă sunt izolate (în prezent numai în plastic) şi pot fi cu un mănunchi sau mai multe, metalizate sau nu. Aceste conductoare au flexibilitate mai bună şi sunt folosite pentru conectarea pieselor mobile.

Scanned with OKEN Scanner

- *Cablurile bifilare, trifilare sau multifilare* constau din mai multe conductoare, de regulă lițate, puse în paralel și izolate în ansamblu sau cu izolațiile lipite, formând cabluri rotunde sau tip panglică.

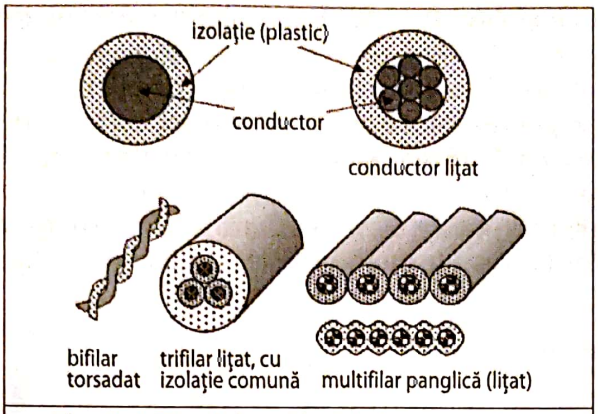


***Fig. 1.1.** Tipuri de cabluri de interconexiune*

Izolația cablurilor filare se realizează cu: peliculă de email, cu email și țesătură impregnată sau nu, sau cu masă plastică.

De regulă, izolația este colorată sau cu benzi colorate, pentru identificarea traseelor.

A doua funcție a izolației constă în asigurarea rezistenței la solicitări mecanice, deoarece cuprul este foarte puțin rezistent la acestea; îndoirile și torsadările repetate, vibrațiile, provoacă ruperea firelor din cupru cu diametre sub ≈ 2 mm și chiar mai mari. Se impune ca mijloacele de fixare mecanică a cablurilor să fie astfel încât toate solicitările mecanice să fie preluate de izolație.

În principal, pentru creșterea rezistenței mecanice, dar și pentru a avea un control al traseelor, adesea se folosesc *arbori de cablu*.

În cazul unor trasee simple este suficientă înmănunchierea firelor și legarea cu sfoară (matisare) sau inele.

În cazul unor trasee complicate, cu dimensiuni mari, firele se strâng în mănunchi, se leagă cu sfoară (matisare) și se impregnează cu lac pentru rigidizare.

Acești arbori se construiesc pe machete (matrițe) din lemn sau plastic cu știfturi sau cuie pentru ghidare, care reproduc la scara 1:1 traseul urmat de arbore în echipament; capetele firelor se lasă libere pentru a fi conectate. După rigidizare, arborii se scot de pe matrițe, se montează în echipament și se fixează cu cleme sau inele. Frecvent, firele sunt diferit colorate, iar capetele se marchează.

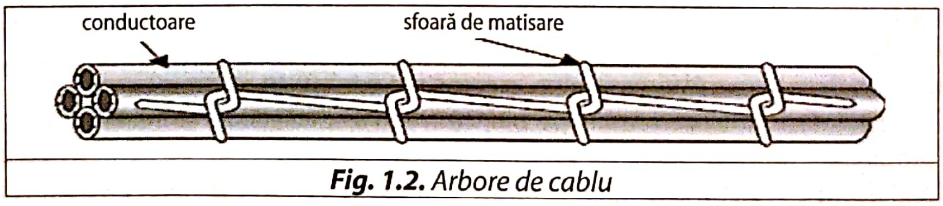


***Fig. 1.2.** Arbore de cablu*

Cablurile ecranate formează o categorie aparte. Acestea sunt formate din:

- un conductor central, masiv sau lițat;
- izolația din jurul conductorului central;
- un conductor cilindric exterior realizat din împletitură din sârmă de cupru (tresă), din bandă (folie) din cupru (rar din aluminiu) sau din fire de cupru paralele înfășurate pe izolația din jurul conductorului central;
- izolația exterioară de protecție.

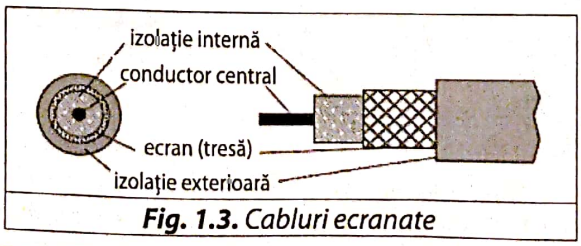


***Fig. 1.3.** Cabluri ecranate*

Scanned with OKEN Scanner

Tehnologii de cablare cu fire

În cel mai vechi procedeu de cablare, componentele se fixau pe un suport (şasiu), izolant sau metalic, cu cleme, şuruburi, piuliţe etc. Legăturile între terminale se executau cu fire izolate sau nu. Unele componente se montau direct între terminalele unor piese. Datorită dezavantajelor evidente, acest procedeu nu mai este folosit în producţia industrială.

Un progres s-a înregistrat prin folosirea plăcilor şi regletelor din materiale izolante (textolit, pertinax, ceramică) pe care se montează, prin încastrare sau capsare, capse, cose sau cleme metalice folosite pentru contacte electrice. Piesele se montează prin lipirea terminalelor pe contacte, iar conexiunile se realizează direct între terminale sau cu fire.

Montajele astfel realizate sunt ordonate, au răcirea bună, bună rezistenţă mecanică şi fiabilitate. Din aceste motive, procedeul este şi azi folosit în circuite care lucrează la tensiuni mari şi/sau necesită răcire bună.

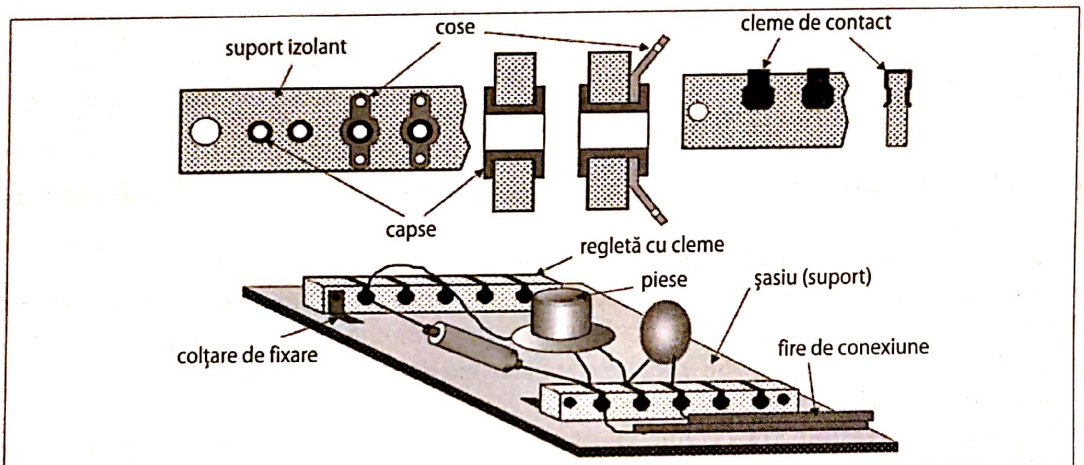


Fig. 1.4. *Reglete izolante cu cose, capse şi cleme de contact şi un montaj pe reglete cu cleme*

Procedeul wire-wrap

Un procedeu de cablare cu fire, inventat prin 1965 şi destul de utilizat în prezent, este cel numit **wire-wrap** (**wrapping**).

În acest procedeu se folosesc pini pentru wrapping încastraţi în suport izolant, pe care se înfăşoară strâns conductorul de conexiune. Pinii sunt din metal elastic (bronz fosforos, alamă, oţel etc.) acoperiţi cu aur, argint sau staniu, cu secţiune pătrată (de regulă) sau triunghiulară cu muchii tăioase.

Conductorul care se înfăşoară pe pini este din cupru tras la rece (pentru elasticitate), argintat sau stanat (mai puţin recomandabil).

Izolaţia este din teflon, Kynar, PVC sau Nylon, cu grosime mică (0,15–0,3 mm).

Conductorul este înfăşurat foarte strâns pe pin, cu o sculă specială. Ca urmare, muchiile crestează puţin conductorul, iar pinul este puţin torsadat. Ca urmare, apar forţe elastice care asigură un contact foarte bun şi fiabil (mult mai fiabil decât contactul prin lipire). Pentru a nu se rupe cuprul la vibraţii, se execută şi 0,5 ... 1,5 ture cu conductor izolat.

Pe un pin se pot conecta mai multe fire, în funcţie de lungimea acestuia şi grosimea firului.

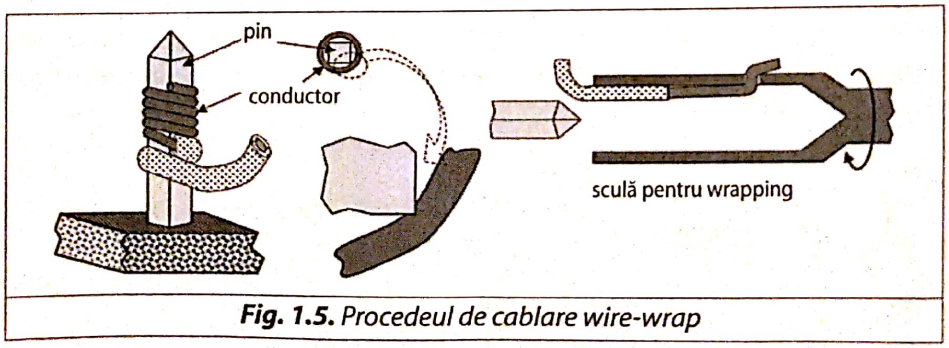


Fig. 1.5. *Procedeul de cablare wire-wrap*

Scanned with OKEN Scanner

Înfăşurarea se execută cu scule speciale, manuale, electrice sau pneumatice. Testele au arătat că o înfăşurare poate fi desfăcută şi refăcută de circa 50 de ori.

Procedeul wire-wrap se foloseşte pentru interconectarea subansamblurilor când:

- sunt necesare multe conexiuni între puncte îndepărtate spaţial;
- conductoarele urmează trasee complicate; un exemplu este la interconectarea registrelor din centralele telefonice.

Avantajele procedeului sunt: asigură o mare densitate de contacte pe unitatea de suprafaţă, permite automatizarea execuţiei, asigură contacte bune şi foarte fiabile, iar depanarea este uşoară.

Dintre *dezavantaje*, mai importante sunt: necesită pini şi conductoare anume fabricate, impune atenţie din partea lucrătorilor când pinii sunt foarte apropiaţi (apare oboseala şi sunt posibile erori). Procedeul este aplicabil în joasă frecvenţă şi în sisteme digitale cu viteză mică şi medie.

Alte tehnici de interconectare cu fire

Alte procedee de interconectare cu fire frecvent utilizate în electronică sunt:

- cu contact cu şurub;
- cu elemente de contact (papuci, cose, cleme) fixate (sertizate, lipite) pe conductor.

Contactele cu şurub se pot face prin înfăşurarea firului în jurul şurubului sau prin introducerea firului în gaura din piesa de contact. În primul caz este obligatorie folosirea a cel puţin o şaibă; în ambele cazuri se recomandă şi şaibe antideşurubare (grower). De asemenea, se recomandă imobilizarea firului cu bride sau cleme, montate pe porţiunea izolată.

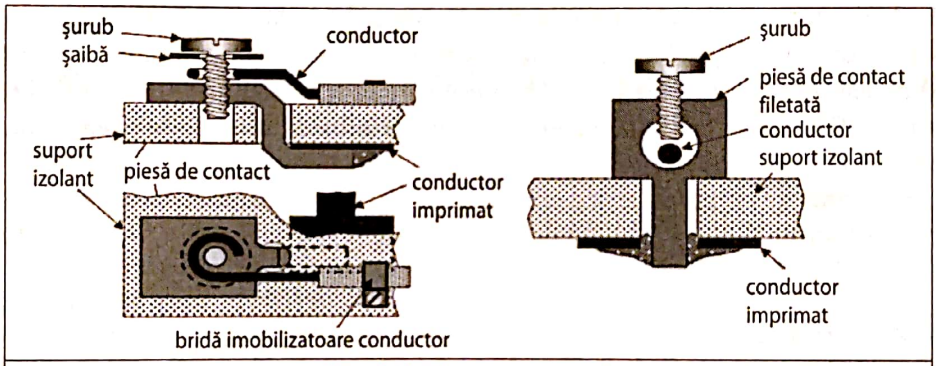


Fig. 1.6. *Contacte cu şurb*

Contactele cu elemente de contact fixate pe conductor folosesc papuci, cose, cleme, cu variate forme şi dimensiuni. Fixarea conductorului se face de obicei prin strivire cu cleşti speciali, fără lipire (de obicei) sau prin strivire şi lipire, rareori numai prin lipire. Este obligatorie imobilizarea mecanică pe porţiunea izolată a conductorului, strivind parţial izolaţia.

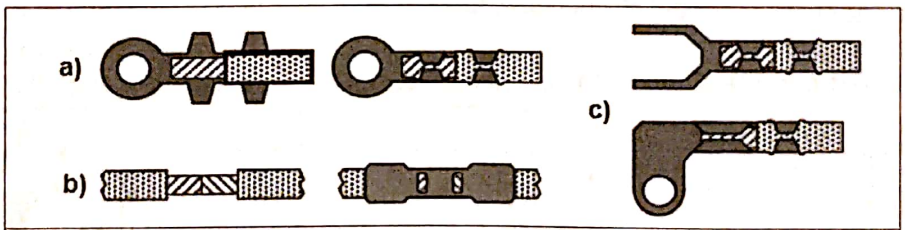


Fig. 1.7. *Contacte cu elemente de contact*

1.2. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice în regim de prototip pe plăci de tip breadboard

De cele mai multe ori, atunci când se proiectează un nou circuit, prima versiune realizată nu este şi ultima. Frecvent, un electronist va începe cu un circuit şablon pe care îl va modifica pentru o anumită aplicaţie. Varianta finală a circuitului va fi fabricată pe plachete de siliciu sau pe circuite imprimate (PCB); pentru a modifica un circuit astfel implementat este necesar un efort relativ mare. Trebuie să se aibă în vedere faptul că la începutul ciclului de proiectare a unui circuit apar modificări frecvente, deci este necesar să se folosească o soluţie uşor reconfigurabilă

Scanned with OKEN Scanner

de construcție și testare a circuitelor. Facem astfel diferența între un circuit permanent și unul experimental. O *„placă provizorie"*, cunoscută și sub numele de *placă de prototipuri cu perforații și contacte mecanice* (***protoboard*** sau ***breadboard***) este o platformă reutilizabilă folosită pentru construirea temporară a circuitelor electronice, deci este un instrument folosit pentru realizarea unui prototip. Prototipul este un model potrivit pentru evaluarea completă a modului în care a fost proiectat (***design-ului***) și a performanțelor unui anumit circuit.

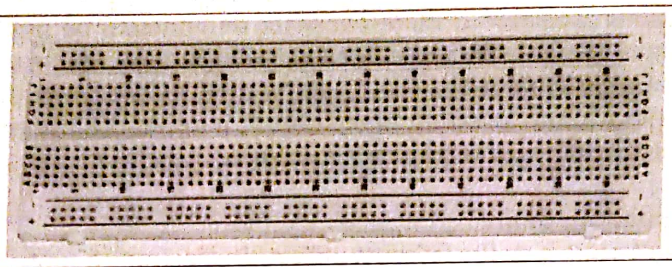


Fig. 1.8. *Placă provizorie (breadboard)*

Pe suprafața unei astfel de plăci vom observa existența unui număr de găuri mici dispuse la distanță de 0,1 inch (2,54 mm), în fiecare dintre aceste găuri putând fi introdus un singur fir sau un terminal al unei componente. Sub capacul de plastic, găurile sunt conectate în grupuri de o rețea de lamele metalice realizate din aliaje bune conducătoare de curent electric.

Un exemplu de conectare a lamelelor metalice este prezentat în figura 1.9. Rândurile de sus și de jos sunt conectate orizontal și sunt, de obicei, folosite pentru bornele sursei de alimentare. Aici se vor conecta bornele „+" și „–" ale sursei de alimentare. În unele cazuri, în dreptul acestor rânduri este marcată o linie roșie, respectiv albastră, pentru a identifica cu ușurință polarizarea alimentării (albastru-masă). Celelalte lamele sunt conectate vertical.

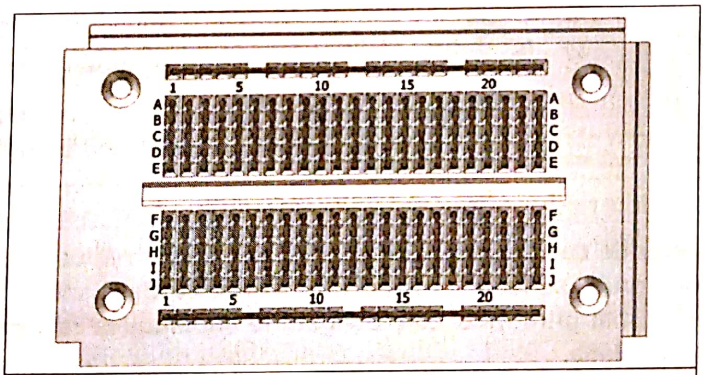


Fig. 1.9. *Interconectarea prin lamele metalice*

Canalul din mijloc permite amplasarea circuitelor integrate (IC), de exemplu amplificatoare operaționale (fig. 1.10).

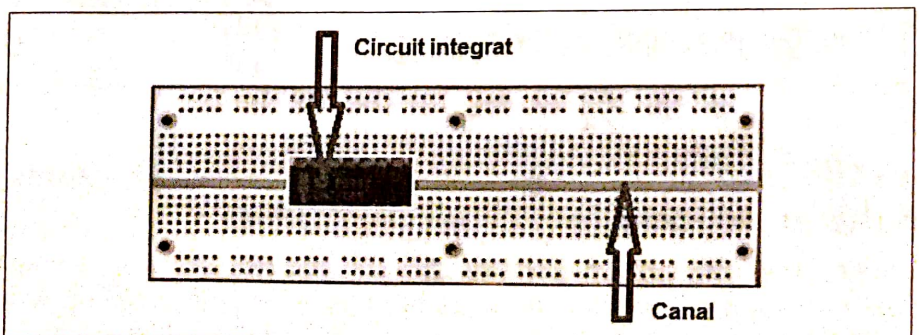


Fig. 1.10. *Exemplu de utilizare a canalului central al unei plăci provizorii (breadboard)*

Scanned with OKEN Scanner

Construirea unui circuit experimental pe placa provizorie

Atunci când se realizează un circuit pe placa provizorie pornind de la o schemă, primul pas este identificarea „nodurilor" circuitului. Un nod este orice punct în care sunt interconectate două sau mai multe componente. Fiecare nod al circuitului va deveni apoi un nod pe placa provizorie (*breadboard*). Componente THD (*Through Hole Device*) pot fi conectate prin inserarea terminalelor direct în găuri. Firele sunt folosite pentru a forma conexiunile dintre elementele circuitului.

Există câteva reguli care trebuie respectate pentru a prelungi durata de viață a contactele electrice și pentru a evita deteriorarea componentelor. Aceste reguli sunt:

- Atunci când se construiește sau se modifică montajul experimental, sursa de putere trebuie să fie deconectată. În caz contrar, componentele pot fi supuse unui șoc electric și se pot deteriora.
- Nu utilizați niciodată fire/sârmă prea groasă pentru a realiza conexiuni. Sârma utilizată pentru conexiuni în telefonie poate fi o alegere potrivită.
- Nu forțați niciodată terminalele componentelor în găurile de contact de pe placa provizorie (breadboard). Acest lucru poate deteriora contactul.

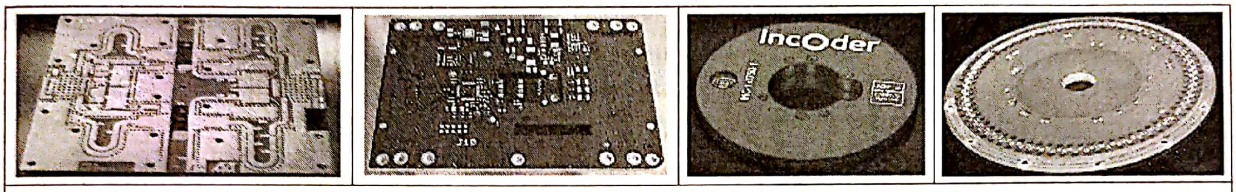


Fig. 1.11. *PCB multistrat*

1.3. Tehnologia de realizare a circuitelor electronice pe plăci cablaj imprimat – PCB

Montajele electronice, în cea mai mare parte, sunt realizate pe cablaje imprimate.

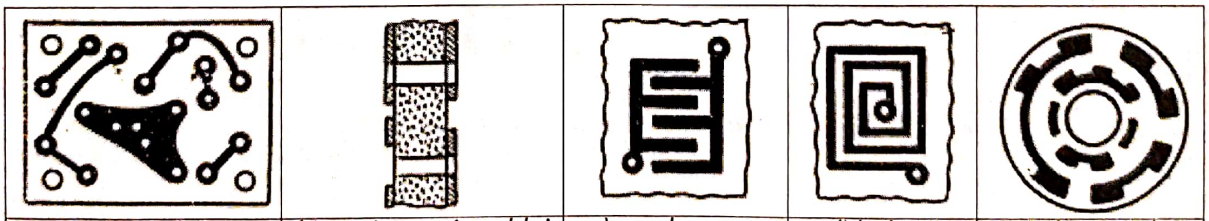
Un **circuit imprimat** sau **cablaj imprimat** (PCB, din limba engleză *Printed Circuit Board*) este o placă cu cablaj imprimat care are rolul de a susține mecanic și de a conecta electric un ansamblu de componente electrice și electronice, pentru a realiza un produs final funcțional (care poate fi: un simplu variator de luminozitate a unui bec, o antenă realizată pe cablaj sau echipamente mult mai complicate, precum calculatoare și echipamente de comunicații radio).

Un cablaj imprimat cuprinde un sistem de conductoare plate care asigură legătura electrică între componentele de circuit ale montajului electronic așezate în 1, 2 sau mai multe plane paralele, fixate (lipite) pe un suport izolant rigid sau flexibil. După numărul de plane în care se află conductoarele, există *cablaje imprimate simple (mono), duble sau multistrat*. În figura 1.12 se reprezintă câteva exemple de cablaje imprimate.

Conductorul propriu-zis este o folie de cupru (placat), lipită sau presată pe un suport izolant.

Cablarea unui circuit electronic constă *în realizarea legăturilor electrice între părțile sale componente* (piese, subansambluri etc.).

Traseele conductoare se realizează din cupru electrolitic de înaltă puritate. În unele aplicații profesionale se pot utiliza și aurul, argintul sau nichelul.



a) simplu	*b) secțiune prin cablaj dublu strat, găuri metalizate*	*c) condensator imprimat*	*d) bobină imprimată*	*e) element de comutator rotativ*

Fig. 1.12. *Exemple de cablaje imprimate*

Schema logică corespunzătoare realizării montajelor electronice pe cablaj imprimat prezintă principalele etape pentru realizarea montajelor electronice pe plăcuțe de circuit imprimat în condiții de laborator fără dotări speciale în condițiile electronistului amator și se realizează prin parcurgerea următorilor pași:

Scanned with OKEN Scanner

- alegerea schemei electronice şi verificarea funcţionării acesteia pe un montaj de probă;
- desenarea schemei electronice intermediare, în care poziţia elementelor de circuit corespunde cu poziţia componentelor pe plăcuţa de circuit;
- proiectarea şi realizarea desenului de cablaj, mai întâi schiţa şi apoi desenul la scara 1:1;
- pregătirea plăcuţei de circuit imprimat (tăiere la dimensiuni, spălare, degresare, uscare);
- trasarea desenului pe plăcuţa de circuit imprimat şi marcarea centrelor găurilor pentru montarea componentelor;
- găurirea plăcuţei;
- acoperirea traseelor conductoare;
- corodarea selectivă a plăcuţei de circuit imprimat;
- spălarea plăcuţei şi îndepărtarea substanţei folosită la acoperirea traseelor conductoare;
- verificarea calităţii cablajului imprimat realizat;
- pregătirea componentelor pentru lipire;
- montarea componentelor şi lipirea acestora;
- verificarea calităţii lipiturilor;
- verificarea funcţionării montajului realizat;
- remedierea defectelor.

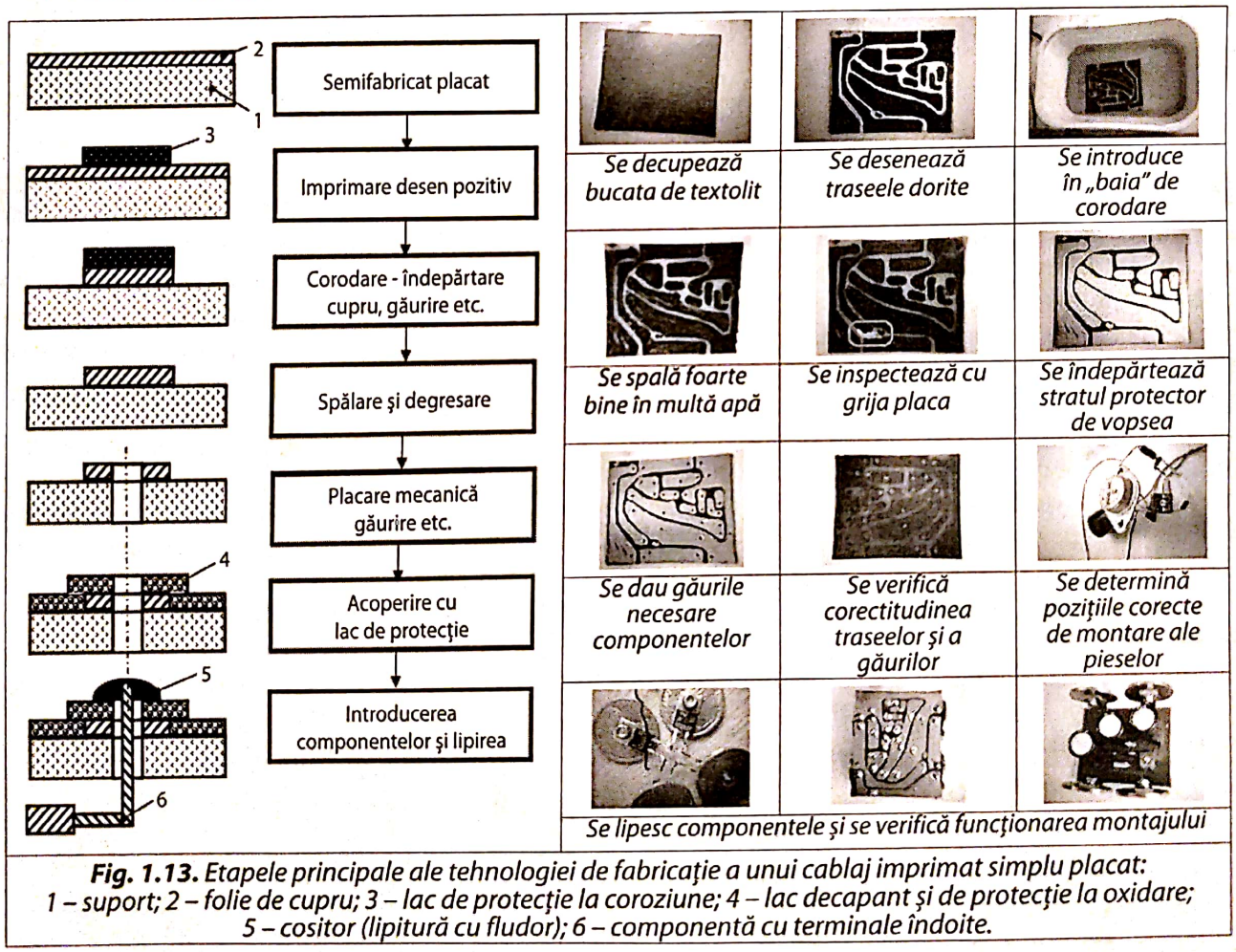


Fig. 1.13. *Etapele principale ale tehnologiei de fabricaţie a unui cablaj imprimat simplu placat: 1 – suport; 2 – folie de cupru; 3 – lac de protecţie la coroziune; 4 – lac decapant şi de protecţie la oxidare; 5 – cositor (lipitură cu fludor); 6 – componentă cu terminale îndoite.*

Materialele dielectrice utilizate în fabricaţia cablajelor imprimate sunt pe bază de textură de hârtie impregnată cu răşini fenolice (pertinax) sau pe bază de textură din fibre de sticlă impregnată cu răşini epoxidice (steclotextolit).

Clasificarea cablajelor imprimate:

a) după **numărul planelor** în care sunt dispuse traseele conductoare:

- cablaj imprimat simplu;
- cablaj imprimat dublu;
- cablaj imprimat multistrat.

Scanned with OKEN Scanner

b) după **modul de realizare a contactelor** între traseele conductoare dispuse în mai multe plane:
- cablaje cu găuri nemetalizate la care contactul se asigură prin intermediul unor conductoare masive;
- cablaje cu găuri metalizate;
- cablaje cu contacte obținute prin creșterea de straturi metalice.

c) după **caracteristicile mecanice** ale suportului izolant:
- rigide;
- flexibile, tot mai des utilizate în calculatoarele electronice și aparatura electronică aeronautică.

Proiectarea cablajelor imprimate

Pornind de la schema electronică dată, se desenează o altă variantă la scara 1:1, în care poziția elementelor de circuit este identică cu poziția componentelor de pe placa de cablaj imprimat. La proiectarea cablajelor se urmărește configurația schemei electronice, dar poziționarea componentelor de circuit, lățimea și lungimea traseelor, distanța minimă între trasee sunt impuse de parametrii electrici pe care trebuie să-i realizeze montajul electronic. Operația de proiectare a cablajelor imprimate începe cu poziționarea componentelor de circuit, stabilindu-se locul punctelor de conexiune și traseele conductoare de interconectare între componente care nu trebuie să se intersecteze în același plan.

Proiectarea cablajului imprimat se poate realiza **manual** sau **automat**.

Principalele aspecte care trebuie avute în vedere sunt:
- axele componentelor să fie paralele cu marginile plăcuței de circuit imprimat;
- conexiunile între componente să fie cât mai scurte;
- găurile de conectare pe cablaj a terminalelor componentelor să fie dispuse în nodurile unei rețele de coordonate cu pasul de 2,54 și să aibă diametrele standardizate în funcție de diametrul terminalelor componentelor (tabelul 1.1);
- se acordă o atenție deosebită dispunerii și formei conductorului de masă, care va fi realizat sub formă masivă, traseu neîntrerupt, distinct de celelalte trasee;
- lățimea traseelor conductoare este determinată de intensitatea curentului care circulă prin acestea și de temperatura de funcționare;
- distanța minimă dintre traseele conductoare este determinată de diferența de potențial existentă între ele (tabelul 1.2):
- la proiectarea desenelor de cablaj trebuie să se țină seama de funcționalitatea unor componente. Astfel, rezistoarele de putere nu se vor monta lângă tranzistoare, circuite integrate sau condensatoare electrolitice;
- desenul va cuprinde și punctele de conexiune pentru alimentare cu tensiune, generatoare de semnal etc.

Tabelul 1.1

Diametrul terminalului componentei [mm]	Diametrul găurii [mm]
0,6	0,8
0,8	1
1	1,3
1,2	1,5
1,5	1,8

Tabelul 1.2

Tensiunea între trasee [V]	Distanța minimă între trasee [mm]
0 ÷ 150	0,65
151 ÷ 300	1,35
301 ÷ 500	2,50

- în cazul circuitelor care lucrează la frecvențe înalte, proiectarea cablajelor imprimate impune o analiză amănunțită a dimensiunilor și formei traseelor conductoare, a naturii și grosimii conductorului și a suportului izolant. Trebuie avută în vedere și capacitatea distribuită între traseele conductoare. Se determină cu ajutorul unor nomograme.
- la **stabilirea configurațiilor traseelor conductoare și a formei pastilelor de lipire** pe placa de cablaj imprimat se va ține seama de recomandările din figura 1.14:

Scanned with OKEN Scanner

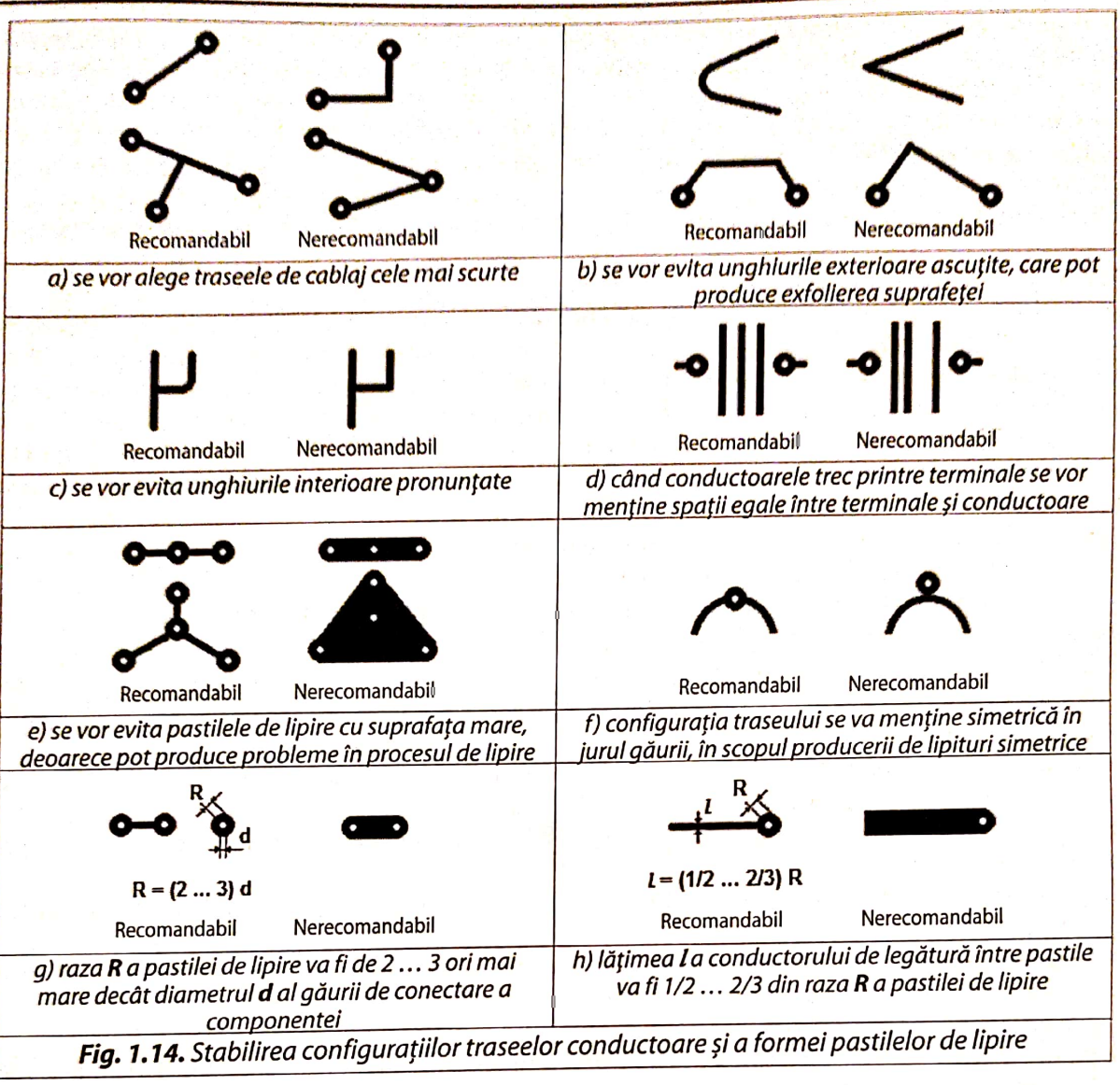


Fig. 1.14. *Stabilirea configuraţiilor traseelor conductoare şi a formei pastilelor de lipire*

După realizarea desenului, se face transpunerea lui pe suprafaţa foliei de cupru, imprimarea făcându-se prin *procedee fotografice* (la serii mari) sau *serigrafice*: viitoarele conductoare sunt acum acoperite cu un lac sau o vopsea rezistentă la acizi. După uscare, se face corodarea în băi cu soluţii acide (cel mai des se utilizează *clorura ferică*), care în câteva minute atacă şi înlătură cuprul neprotejat.

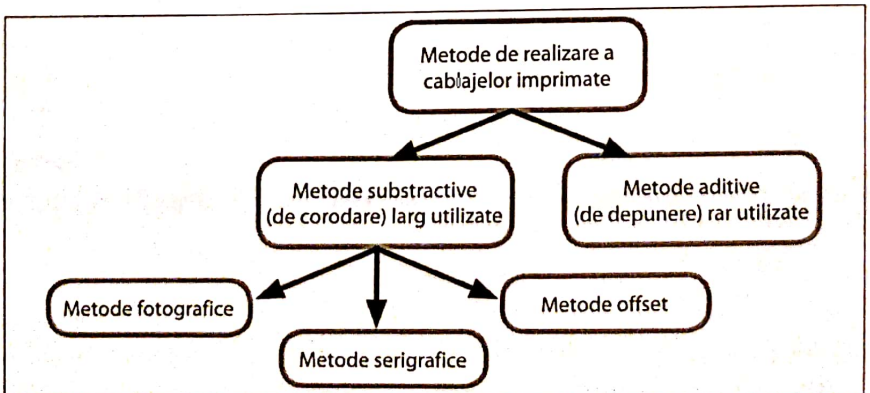


Fig. 1.15. *Metode de realizare a cablajelor imprimate*

Placa se spală bine pentru înlăturarea agentului corodant şi a produşilor de corodare, apoi se înlătură cerneala protectoare prin spălare cu diluant şi se execută diversele prelucrări mecanice: găurire, tăiere, decupare etc.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru evitarea oxidării suprafeței conductorului de cupru, cablajul se acoperă cu lacuri de protecție care servesc și ca fondanți pentru lipire.

În continuare, se introduc componentele, se taie scurt terminalele (în prealabil ele au fost îndoite pentru a ajunge în dreptul orificiilor), iar în final se lipesc cu aliaj de lipit terminalele de placat. Lipirea trebuie să se facă rapid și precis, deoarece lipituri repetate sau îndelungate, datorită solicitării termice a liantului, duc la exfolierea placatului și distrugerea cablajului imprimat.

În cazul realizării cablajelor dublu strat, se execută două desene, unul pentru față, altul pentru spate, care se vor suprapune perfect în dreptul găurilor comune. În acest scop, se prevăd puncte (găuri de ghidare), iar inițial desenul se face în două sau trei culori: roșu pentru față, albastru pentru spate și negru la punctele comune.

Pentru partea neplacată, pe care sunt montate piesele, se face un desen suplimentar, pentru localizarea componentelor; ele se reprezintă schematic și se însoțesc de reperele din schema electrică, făcându-se, când este cazul, precizări referitoare la sensul de montare (plusul de la condensatoarele electrolitice, anodul sau catodul diodelor, electrozii tranzistoarelor, poziția cheii circuitelor integrate).

Aspecte tehnologice privind pregătirea componentelor pentru lipire și poziționarea lor pe cablajul imprimat

- în scopul asigurării unei *bune umectări* de către aliajul de lipit topit, impuritățile grosiere (murdărie, grăsimi etc.) trebuie înlăturate de pe suprafețele de lipire înainte de procesul de lipire. O atenție aparte trebuie acordată unei bune curățiri a suprafețelor de cupru ale cablajului;
- îmbunătățirea sudabilității prin cositorirea bornelor de conectare ale unor componente (în general cele pasive, mai rezistente la șoc termic) și a suprafeței de cupru a cablajului;
- suprafețele altor piese (prize de contact) pe care se efectuează lipirea conexiunilor se pregătesc prin cositorire sau argintare, după ce în prealabil au fost degresate și decapate;
- este recomandabil ca dispunerea componentelor pe placa de cablaj să fie cât mai *ordonată*, ceea ce facilitează montarea, lipirea și depanarea și permite controlul influențelor electrice reciproce. Componentele cu montare axială trebuie dispuse în *rânduri ordonate*, având – pe cât posibil – *aceeași orientare și aceeași dimensiune de montare*. Componentele polarizate (diode, condensatoare electrolitice ș.a.) trebuie *ordonate* avându-se în vedere direcția de polarizare;
- componentele active sau pasive cu gabarit mic sau mijlociu se pot fixa direct pe cablaj, fie prin implantarea terminalelor componentelor în găuri (modul de fixare utilizat în majoritatea cazurilor), fie prin așezarea terminalelor direct pe contactele de lipire (CI cu capsula de tip flat-pack sau dispozitivele de tip SMD);
- componentele mai voluminoase sau mai grele (condensatoare electrolitice, transformatoare, radiatoare etc.) trebuie fixate corespunzător pe cablaj, de obicei cu ajutorul unor dispozitive mecanice de susținere (socluri, coliere de strângere, șuruburi și piulițe ș.a.);
- echiparea cu componente a plăcilor de cablaj imprimat necesită o operație anterioară de pregătire sau formare a componentelor, prin aducerea terminalelor acestora la forma cea mai avantajoasă pentru echipare și contactare (fig. 1.16);

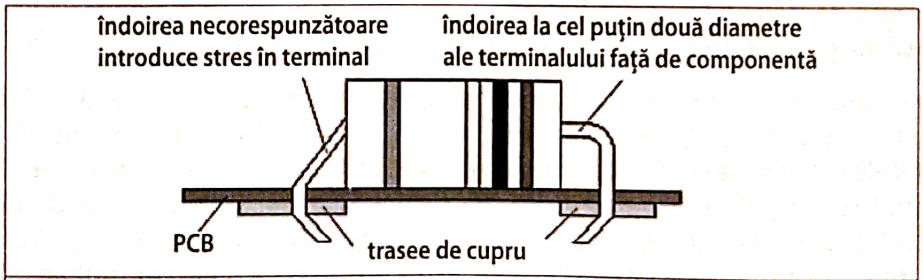


Fig. 1.16. *Plasarea componentelor: se montează pe partea fără cupru a plăcii de cablaj imprimat cu o singură față, iar terminalele se îndoaie la 45° pentru a reține componenta în timpul lipirii*

- componentele trebuie formate astfel încât marcajul să fie dispus în sus, ceea ce permite ca ele să poată fi identificate cu ușurință dacă placa este privită perpendicular spre fața de dispunere a componentelor;
- trebuie avut grijă ca raza de îndoire a terminalelor componentelor să nu fie prea mică (sub 1,5 mm) iar aceasta operație să nu se efectueze prea brusc, pentru a nu afecta integritatea terminalelor;

Scanned with OKEN Scanner

- în scopul reducerii solicitării termice a componentelor în procesul de lipire, dar şi în timpul funcţionării montajului, se recomandă acele moduri de formare şi montare care asigură o distanţă suficientă a componentei faţă de placă şi o lungime suficientă a terminalelor (de exemplu diodele redresoare, de comutaţie şi Zener cilindrice evacuează căldura prin terminale şi din această cauză trebuie să fie formate cu terminale mai lungi);
- pe cât posibil se preferă montarea orizontală a componentelor cu terminale axiale; doar în cazuri speciale (din considerente de spaţiu disponibil foarte mic) se pot monta aceste componente şi vertical;

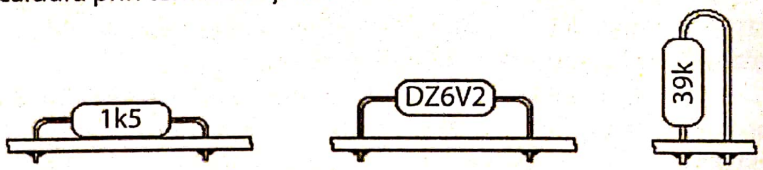


Fig. 1.17. *Exemple de formare şi montare a componentelor cu terminale axiale*

- subansamblurile se realizează prin lipirea directă a terminalelor componentelor direct între ele, prin intermediul unor conductoare discrete (montaje convenţionale) sau prin lipirea componentelor pe *cablaje (circuite) imprimate*. La rândul lor, subansamblurile, conţinute pe un cadru sertar sau şasiu sunt conectate între ele prin alte elemente de legătură: conductoare lipite sau înfăşurate foarte strâns, conectoare sau mufe, reglete cu şurub etc.

Lipirea componentelor (solderizarea)

Lipirea este procesul tehnologic de fixare a componentelor electronice şi a conductoarelor de conexiuni pe reglete, conectoare, cablaje imprimate, plăci de montaj etc. cu un aliaj de lipit care se topeşte la o temperatură mai mică decât temperatura de topire a metalelor ce se doresc a fi îmbinate. Procesul de lipire reprezintă asamblarea a două metale folosind aliaj de lipire.

Fig. 1.18. *Staţie de lipit*

Lipirea este operaţia de îmbinare a două sau mai multor piese metalice între ele, la cald, cu ajutorul unui material de adaos, în stare topită, numit *aliaj de lipit*. Lipirea componentelor trebuie să asigure atât o rigiditate mecanică corespunzătoare, cât şi o rezistenţă electrică extrem de mică (practic nulă).

Lipirea se poate face *manual* (fig. 1.19), cu staţii de lipit, cu ciocane/pistoale de lipit sau în băi speciale de lipire (în producţia de mare serie, industrială).

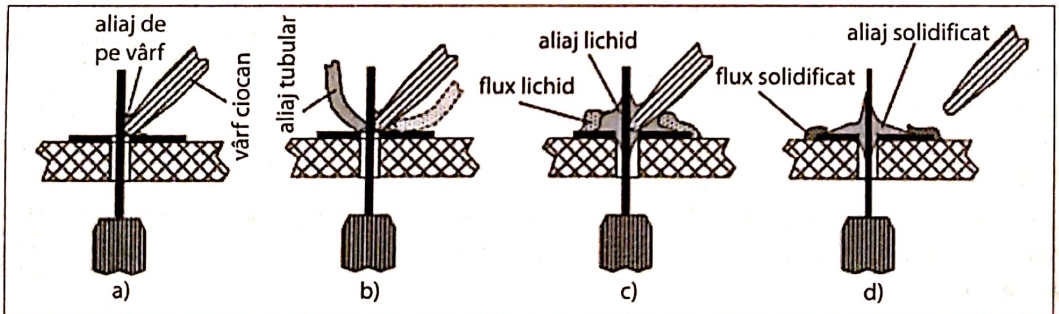


Fig. 1.19. *Etapele lipirii manuale cu ciocanul de lipit: a) încălzirea; b) adăugarea aliajului; c) acoperirea suprafeţelor şi umplerea interstiţiilor; d) solidificarea aliajului.*

Înainte de executarea unei lipituri, suprafaţa pieselor ce urmează a fi lipite se curăţă (cu un cuţit sau cu hârtie abrazivă fină) de izolaţie, email, oxizi sau alte impurităţi, până când suprafeţele sunt strălucitoare.

Apoi, suprafeţele curăţate se protejează împotriva oxidării sau coroziunii cu decapanţi. *Decapantul* cel mai utilizat este *colofoniul (sacâzul)*. El se foloseşte fie în stare naturală (solidă), fie în soluţii de alcool. Colofoniul aderă cu uşurinţă pe suprafeţele ce urmează să fie lipite, deoarece se înmoaie între 50 şi 80 °C şi devine lichid la 125 °C. Pe suprafeţele încălzite pe care se află, colofoniul creează o peliculă protectoare care îmbunătăţeşte umezirea lor de aliajul de lipit în stare topită, asigurând o bună cositorire a pieselor.

Aliajul de lipit este o compoziţie, în anumite procente, de cositor şi plumb, cu punct de topire şi o bună aderenţă la suprafeţele de lipit curate, decapate şi având aceeaşi temperatură cu aliajul de lipit. Pentru a se mări operativitatea executării lipiturilor, se utilizează *cositorul fludor*. El se prezintă sub forma unui fir din aliaj de lipit, având între 1 şi 5 mm diametru şi fiind prevăzut cu unul sau mai multe canale interioare ce sunt umplute cu decapant.

Ciocanul/pistolul de lipit trebuie să fie bine încălzit, vârful său din cupru trebuind să aibă o culoare vişinie închisă şi să fie cositorit. Un vârf insuficient încălzit nu topeşte bine aliajul de lipit (care se înmoaie numai, având

Scanned with OKEN Scanner

o structură amorfă şi o culoare gri-mată), iar un vârf supraîncălzit se oxidează şi nu poate fi utilizat, cositorul neaderând pe suprafaţa sa.

Înainte de lipirea propriu-zisă a pieselor, suprafeţele ce vor fi lipite sunt cositorite (marea majoritate a terminalelor componentelor electronice sunt cositorite în procesul de fabricaţie).

Lipirea propriu-zisă se face într-un timp scurt (1-2 s), pentru ca temperatura ridicată a lipiturii să nu se transmită componentelor. Suprafeţele cositorite se suprapun câţiva milimetri, se fixează (se ţin cu o pensetă, cu mâna sau în alt mod), se pun în contact cu vârful ciocanului/pistolului de lipit, care în prealabil a fost cositorit.

Când suprafaţa pieselor a ajuns la temperatura de topire, se adaugă puţin *fludor*, care topindu-se, aderă instantaneu la suprafaţă şi, datorită forţelor de tensiune superficială, *„îmbracă"* zona, formând *un corp geometric de forma unei picături alungite* (dacă s-au lipit conductoare), sau *un mic con* (dacă s-a lipit un conductor la o suprafaţă mai mare). Se îndepărtează rapid vârful ciocanului/pistolului de lipit şi se ţine lipitura nemişcată câteva secunde, până ce aliajul se solidifică, suprafaţa sa exterioară având o culoare argintie strălucitoare.

O lipitură bună are puţin cositor, care „îmbracă" aderent piesele puse în contact. Dacă se pune mult aliaj, acesta se va răci foarte greu, iar mişcarea involuntară a pieselor duce la solidificarea imediată prin cristalizare a aliajului; în acest caz, suprafaţa lipiturii are culoare gri-mat, lipitura este „rece", ea având o rezistenţă electrică ridicată, care va duce foarte curând la defectarea circuitului prin întrerupere.

În cazul depanării unui modul electronic sau în cazul când o componentă a fost greşit amplasată, trebuie efectuată operaţia de dezlipire. Aceasta necesită un mijloc de îndepărtare a aliajului care a realizat contactarea, aliaj care este adus în stare lichidă prin aplicarea ciocanului/pistolului de lipit. Un instrument foarte utilizat în acest scop este pompa de cositor, numită şi pompă de extracţie a aliajului topit (fig. 1.20).

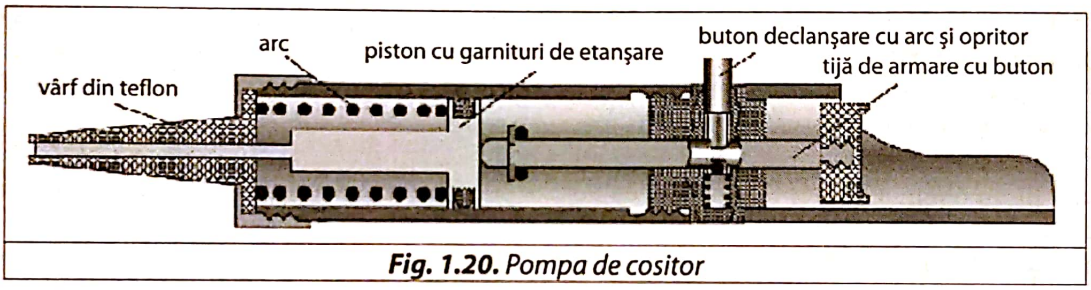


***Fig. 1.20.** Pompa de cositor*

Cerinţele unei conexiuni corecte realizată prin lipire

- forma lipiturii trebuie să fie tronconică;
- înălţimea trunchiului de con trebuie să fie aproximativ ¾ din lungimea terminalului dinspre suprafaţa de lipire, iar înălţimea maximă nu trebuie să depăşească 1/2 ... 4/5 din diametrul pastilei de lipire;
- unghiurile de contact trebuie să fie mai mici de 30°;
- suprafaţa lipiturii trebuie să fie lucioasă şi strălucitoare.

Verificarea funcţionării montajului

- se verifică dacă montajul electronic corespunde schemei electronice;
- se remediază eventualele defecte, sau dacă nu este posibil, se reproiectează circuitul.

De reţinut!

- se curăţă vârful ciocanului/pistolului de lipit şi se acoperă cu un strat foarte subţire de aliaj de lipit (fludor);
- se încălzeşte fiecare terminal până la temperatura apropiată celei de topire a fludorului şi acesta se aplică pe terminalul încălzit pe partea opusă celei pe care se află vârful ciocanului/pistolului de lipit;
- după topirea unei cantităţi suficiente de fludor se îndepărtează rapid de la locul lipiturii fludorul, lăsând ca vârful ciocanului/pistolului să supraîncălzească aliajul, apoi se îndepărtează şi vârful ciocanului/pistolului printr-o mişcare suficient de rapidă;
- se taie terminalele;
- se verifică calitatea lipiturilor şi se refac dacă este cazul.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Realizarea unei plăcuțe de cablaj imprimat

Materiale necesare

- imprimantă laser pentru imprimarea cablajului;
- foarfecă;
- fier de călcat, pentru imprimarea cablajului de pe foaie pe plăcuță;
- mini-bormașină (pentru burghie cu diametru ϕ = 0,9-1 mm);
- cablaj textolit;
- foaie A4 lucioasă (sau folie PnP) pentru imprimarea cablajului;
- clorură ferică pentru corodarea plăcuței;
- diluant (sau acetonă) pentru curățarea tonerului de pe plăcuță.

Proiectarea cablajului

- prima fază o reprezintă proiectarea cablajului, pornind de la schema electronică a montajului.
- proiectarea se poate face în orice program care poate realiza un PCB (Printed Circuit Board): de exemplu: **Eagle, OrCad** etc.

Imprimarea cablajului

- se folosește metoda transfer de toner pentru a fixa „imaginea" cablajului pe laminatul de cupru;
- după realizarea cablajului sau după descărcare, se va imprima pe o coală A4 lucioasă (ceva mai groasă decât o coală A4 obișnuită de xerox), hârtie fotografică (sau pe o folie Press'n'Peel, cu ajutorul unei imprimante LASER;
- se taie placa de textolit la dimensiunea dorită și se curăță partea de cupru cu un glaspapir fin pentru a înlătura orice urmă de murdărie sau grăsime;
- se poate curăța cu un tampon de vată îmbibat în diluant sau acetonă;
- după printarea mai multor imagini ale cablajului pe aceeași foaie, se taie cu o foarfecă pe contur și se aplică „abțibildul" pe partea cu cupru a plăcii de textolit;
- se calcă cu fierul încălzit la maximum placa și hârtia, până când tonerul aderă la cupru;
- după ce se calcă cablajul, nu se dezlipește imediat hârtia de placa de textolit, ci se lasă să se răcească. Cea mai bună metodă este punerea plăcii sub un jet de apă rece până când hârtia se înmoaie;
- după curățirea hârtiei, pe cupru apar traseele imprimate.

În figura 1.21 sunt prezentate câteva imagini din procesul de imprimare:

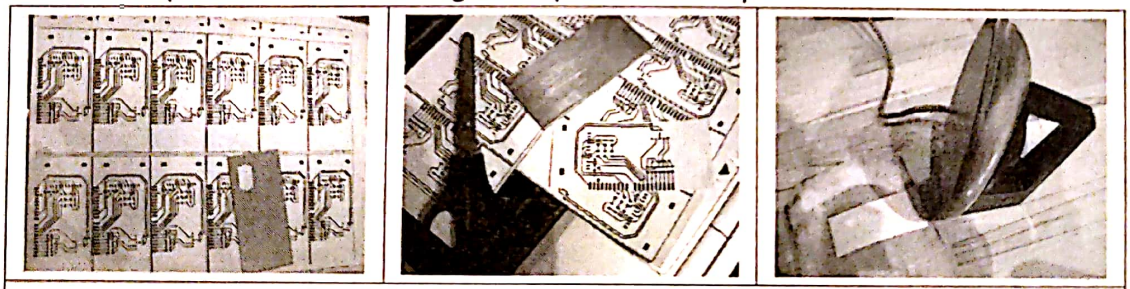


Fig. 1.21. *Etape ale imprimării unui cablaj*

Corodarea plăcuței

- se toarnă clorura ferică $FeCl_3$ într-un vas și apoi se pune placa la corodat în acel vas, astfel încât întreaga suprafață a plăcii să fie scufundată în clorura ferică;
- se lasă să se corodeze aprox. 20 de minute, dar se verifică progresul din 5 în 5 minute. Corodarea se face mai repede dacă soluția de clorură ferică este încălzită în prealabil;
- după ce s-a corodat, se spală plăcuța cu multă apă și săpun, apoi se șterge și se îndepărtează tonerul cu un tampon îmbibat în diluant sau acetonă;
- după folosire, se stochează soluția de clorură ferică într-o sticlă de plastic și se etichetează. Soluția poate fi folosită de câteva zeci de ori înainte să devină inutilizabilă. Înainte de a fi aruncată, se diluează mai întâi în 10 părți apă și apoi se aruncă la canalizare.

Fig. 1.22. *Clorură ferică*

Scanned with OKEN Scanner

Atenție!
- clorura ferică pătează foarte tare, uneori iremediabil, orice material textil;
- nu va temeți să băgați mâinile în soluție, nu corodează decât cuprul, nu și mâinile voastre;
- nu ingerați soluția – este toxică. Aveți grijă să nu vă intre în ochi.

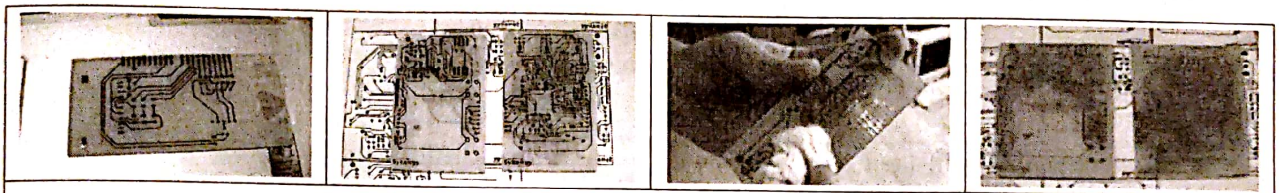


Fig. 1.23. *Etape ale corodării*

Finalizarea plăcuței
- placa se găurește cu o mini-bormașină. Pentru cele mai multe găuri, se folosește un burghiu de diametru $\phi = 0{,}9$ mm, în funcție de componentele de pe cablaj;
- după ce s-au dat toate găurile, se fixează și se lipesc componentele la locurile lor;
- se testează cu ajutorul multimetrului continuitatea traseelor și funcționalitatea montajului.

Fișă tehnologică

Lucrarea practică: Realizarea cablajului imprimat

Schema electrică	Schema cablajului imprimat
$R_1 = 1\ k\Omega$ $R_2 = 1{,}5\ k\Omega$	

Nr. crt.	Operații (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare	
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	Corect	Incorect
1	citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2	selectarea componentelor electronice, conform specificațiilor schemei electronice		ohmmetru	rezistoare		
3	realizarea desenului cablajului imprimat pe foaia de calc în raport 1/1			calc milimetric		
4	transpunerea desenului pe plăcuța placată cu cupru	creion moale		plăcuța placată cu cupru		
5	trasarea desenului pe placat	marker permanent				
6	corodarea plăcuței	cuvă		clorură ferică		
7	spălarea plăcuței			apă curată		
8	îndepărtarea vopselei			dizolvant tampon de vată		

Scanned with OKEN Scanner

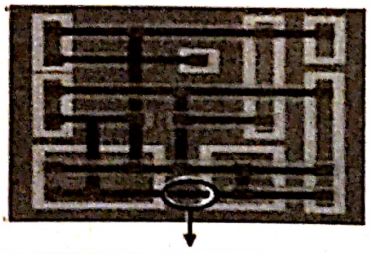
Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare	
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	Corect	Incorect
9	găurire	maşină de găurit				
10	identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat conform documentaţiei tehnice			cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură		
11	executarea preformării terminalelor conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		rezistoare conductori de legătură		
12	montarea componentelor în găuri	pensetă cleşti		cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură		
13	efectuarea lipiturilor	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură fludor		
14	verificarea montajului prin inspecţie vizuală					

1.4. Tehnologii de evacuare a căldurii în circuitele electronice

O tendinţă evidentă în fabricaţia produselor electronice actuale este reducerea drastică a dimensiunilor lor. În proiectarea şi fabricaţia plăcilor de circuit imprimat acest lucru implică o creştere deosebită a densităţii de echipare cu componente electronice („board density"). În aceste condiţii, în electronica actuală (în special în aplicaţii militare, navale, spaţiale sau produse portabile) apar aşa-numitele „high-density boards", structuri şi module PCB cu componente pe ambele feţe şi cu o plasare a componentelor la distanţe extrem de mici.

Din păcate, acest lucru conduce la o creştere a defectelor cauzate de aspectele termice (fenomenul numit „overheating" – supraîncălzire). Tehnologiile microelectronice dezvoltate în ultimele decenii (cu tensiuni de alimentare sub 3,3 V) au generat o creştere şi mai accentuată a problemelor de natură termică.

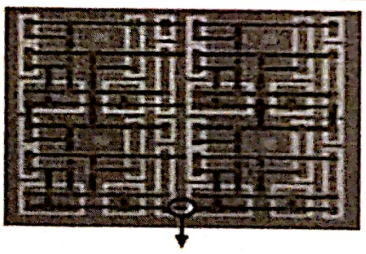
Prevenirea unui „defect catastrofal" – o pierdere totală şi imediată a funcţiei electronice şi a integrităţii *package-ului* – este scopul cel mai important al controlului termic din industria electronică. Defectul catastrofal este adesea asociat cu o creştere substanţială a temperaturii, care poate conduce la o deteriorare majoră a dispozitivului semiconductor şi/sau fisuri/rupturi, delaminare, topire a unor materiale şi structuri, vaporizare şi chiar combustie a materialelor din care este alcătuită componenta. Înţelegerea vulnerabilităţii unei/unor componente specifice face posibilă alegerea corespunzătoare a solidului/lichidului de transfer termic, a modului de transfer al căldurii, a temperaturii lichidului de răcire, stabilindu-se astfel strategia optimă de control termic încă din faza iniţială a procesului de proiectare.



1971

Circuit pe 10 µm

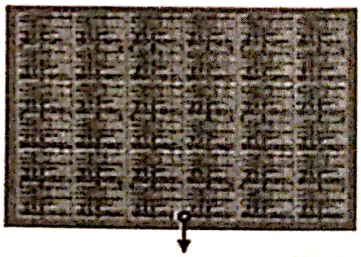
2300 tranzistoare



2001

Circuit pe 0,13 µm

42 de milioane de tranzistoare



2007

Circuit pe 45 nm

1 miliard de tranzistoare

***Fig. 1.24.** Evoluţia microprocesoarelor*

Scanned with OKEN Scanner

După alegerea strategiei de încapsulare adecvată din punct de vedere termic, atenţia poate fi orientată spre atingerea nivelului dorit de fiabilitate şi, corespunzător, valorilor ratelor de defectare ale fiecărei componente şi fiecărui modul/subansamblu.

Trebuie reţinut, totuşi, că dispozitivele electronice „solid-state" sunt în mod natural fiabile. Cu toate acestea, deoarece un singur cip microelectronic poate include mai mult de 1 miliard de tranzistoare şi 1000 de terminale (la nivel de capsulă) şi deoarece zeci de astfel de componente pot fi introduse într-un singur sistem, obţinerea unei funcţionări fără defecte pe toată durata de viaţă a produsului reprezintă o provocare extrem de dificilă. Minimizarea sau eliminarea defectelor generate pe cale termică necesită adesea limitarea creşterii temperaturii componentei peste valoarea celei ambiante şi minimizarea variaţiilor de temperatură la nivelul structurilor interne din *package-ul electronic*.

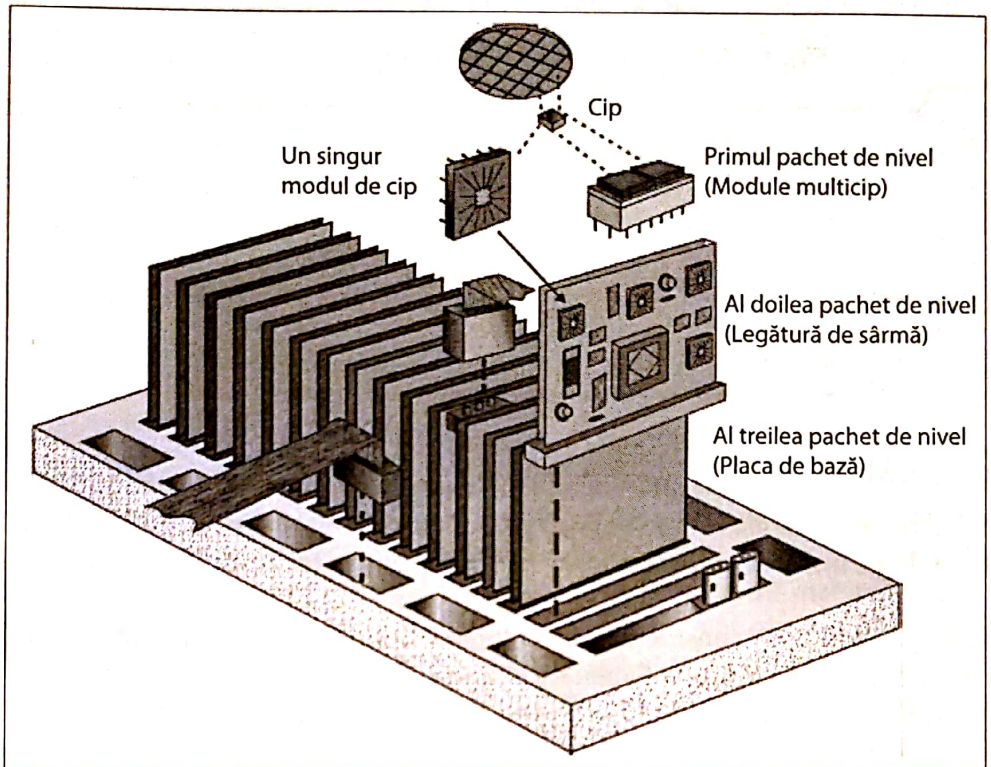


***Fig. 1.25.** Ierarhizarea în packaging-ul electronic*

Ştiaţi că ...?

Packaging-ul electronic reprezintă ambalarea unui sistem electronic care trebuie să ia în considerare protecţia împotriva deteriorării mecanice, răcirii, emisiei de zgomot de frecvenţă radio, protecţia împotriva descărcărilor electrostatice, întreţinere, confortul operatorului şi costul. Prototipurile şi echipamentele industriale fabricate în cantităţi mici pot utiliza carcase standardizate disponibile în comerţ, cum ar fi cuşti de carduri sau cutii prefabricate. Dispozitivele de consum de pe piaţa de masă pot avea ambalaje foarte specializate pentru a creşte atractivitatea consumatorilor. Acelaşi sistem electronic poate fi ambalat ca un dispozitiv portabil sau adaptat pentru montarea fixă sau o instalare permanentă. Ambalajele pentru sisteme aerospaţiale, marine sau militare impun diferite tipuri de criterii de proiectare.

De asemenea, o metodă uzuală de răcire este de a ataşa radiatoare pe suprafaţa capsulei pentru a crea suprafeţe adiţionale de evacuare a căldurii prin convecţie. În figura 1.26 este prezentată schematic o capsulă de plastic cu terminale amplasată pe o placă de bază. Cipul şi terminalele sunt încapsulate într-un material plastic (5).

Capsula conţine cipul de siliciu (7), ale cărei terminale sunt conectate prin tehnica "wire-bonding" (6) de un set de terminale (2). Acestea sunt conectate prin lipire la placa de bază (1). Radiatorul (4), utilizat pentru răcire, este ataşat la suprafaţa superioară a capsulei, folosindu-se o vaselină termo-conductoare (3).

Scanned with OKEN Scanner

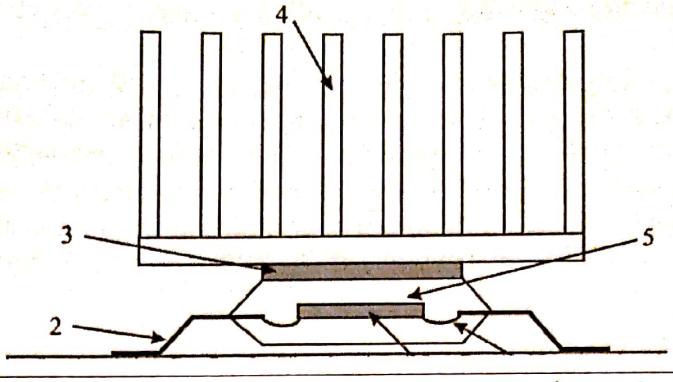


Fig. 1.26. *Radiator ataşat unei componente electronice*

Concluzie

- *Practica din industria electronică a demonstrat că mai mult de 50% din defectele produselor electronice se datorează unei abordări superficiale a managementului termic al componentelor, modulelor sau sistemelor electronice.*
- *Analiza termică şi de fiabilitate virtuală a devenit, în aceste condiţii, o activitate esenţială înaintea procesului de fabricaţie, cea mai bună cale de a obţine, cu costuri de proiectare şi fabricaţie minime, un produs electronic modern şi competitiv*

1.5. Tehnologia SMD

Încă din 1970, în industria electronică miniaturizarea a devenit mai importanta decât costurile. Aşa s-a înfiripat idea de tehnologie în dimensiuni minimale care, în versiunea tehnologiei SMD, a revoluţionat echiparea circuitelor imprimate.

Astăzi, tehnologia SMD este considerată tehnologia viitorului, iar gradul înalt de automatizare specific acesteia a creat standarde noi de calitate şi fiabilitate în domeniu.

Circuitele imprimate convenţionale (PCB) folosesc componente care sunt conectate prin pini care trec prin găuri (tehnologie de plantare în gaură = THT) pe faţa cealaltă a cablajului, pe care se solderizează în val (sau manual). Componentele SMD creează marele avantaj de a se aşeza şi solderiza cu zonele lor de contact direct pe padurile circuitului imprimat. Acesta este principiul inovativ al tehnologiei SMD.

Dispozitivele (componentele) electrice **SMD** (***surface-mounted device***) se folosesc în electronică şi reprezintă clasa componentelor montate direct pe suprafaţa plăcii cu cablaj imprimat folosindu-se micile lor suprafeţe lipibile cu cositor. Sunt cele mai răspândite componente electrice şi, datorită dimensiunilor lor mici, fac să crească calitate electrică a întregului circuit, mai ales la frecvenţe mari şi să se economisească mult spaţiul necesar pentru plantarea componentelor pe placa de cablaj imprimat. Acest tip de componente nu prezintă pini (picioruşe) de inserţie în placă. Componentele SMD se lipesc direct, pe una din feţele plăcii cu cablaj imprimat (sau pe ambele), cu ajutorul cositorului. Tehnologia de lipire folosită, de *„montare la suprafaţă"* poartă în limba engleză denumirea: ***Surface-mounted technology***.

Sub această denumire se ascunde cea mai mare revoluţie din industria electronicii actuale. Trecerea rapidă de la componentele clasice prevăzute cu terminale sau picioruşe de cupru cositorite la cele miniaturizate, direct sudabile pe cablaj, a produs un salt calitativ enorm atât în privinţa creşterii fiabilităţii, cât şi în aceea a scăderii dimensiunilor subansamblurilor.

Nenumăratele avantaje ale acestei noi tehnologii explică pătrunderea explozivă în toate domeniile electronicii: industrie, micro-informatică, telecomunicaţii, produse de larg consum etc.

Piesele pentru montarea pe suprafaţă (fără găurirea cablajului) sunt rezultatul unei evoluţii extrem de rapide din domeniul componentelor pasive, dar mai ales al celor active.

Evoluţia electronicii trebuie să se supună unor canoane ce au rezultat din necesităţile impuse de practică:

– miniaturizarea extremă;

– creşterea siguranţei în funcţionare;

Scanned with OKEN Scanner

– realizarea de montaje pentru frecvenţe din ce în ce mai înalte (tehnica microundelor);
– automatizarea din ce în ce mai accentuată a proceselor de fabricaţie;
– reducerea cât mai mult a consumului.

De talie mult mai redusă decât componentele clasice, SMD-urile se sudează direct pe cablaj cu terminalele pe mici insuliţe special desenate de proiectant pe circuit.

SMD-urile prezintă următoarele avantaje:
– miniaturizare;
– posibilitatea automatizării pozării;
– mai rezistente la solicitări mecanice (torsiuni, flexiune, cablaj), astfel mărindu-se fiabilitatea montajelor executate cu ele;
– inductanţele parazite introduse de acestea sunt extrem de mici, ceea ce le face de neînlocuit pentru hiperfrecvenţe.

SMD-urile şi-au găsit o utilizare mare în realizarea circuitelor hibride; acestea sunt componente semiconductoare active sau pasive realizate pe o plachetă de alumină sau ceramică (numită substrat), pe care se depun diverse tipuri de SMD-uri: rezistoare, condensatoare, inductanţe, tranzistori, integrate etc.

Un alt domeniu de mare importanţă în care se folosesc curent SMD-urile este cel militar. Comportarea excelentă a acestora la şocuri şi la vibraţii le face de neînlocuit în tehnica rachetelor inteligente, a comunicaţiilor, a aparaturii pentru depistarea ţintelor etc.

SMD-urile şi-au făcut rapid apariţia şi în electronica destinată marelui public: Hi-Fi, televiziune + video, alarme auto sau de apartament, telefonie celulară, electronică medicală etc.

Există trei elemente pe care se bazează această tehnologie şi, implicit, orice abordare:
– componentele;
– substratul;
– sistemul de asamblare (plantare).

O mare varietate de componente SMD există în arealul practic; configuraţia lor acoperă o gamă opţională, de la componente fără terminale cu extremităţi metalizate până la componente cu terminale lungi şi flexibile. Fiecare tip de terminal şi încasetare asigură totalitatea cerinţelor impuse de manipulare şi montaj cerute de standardele internaţionale.

Necesităţile de ambalare a componentelor SMD s-au definit în baza necesităţii de alimentare automată a procesului de plantare şi sunt: rola, bagheta, platoul. Dintre acestea, rola este varianta cea mai des întâlnită, în cazurile uzuale asigurând 10.000 de componente pe o singură rolă. Componentele sunt ambalate într-o bandă de masă plastică sau hârtie cu lăcaşuri preformate, în care componentei i se asigură un bun control al orientării în momentul „culegerii", o bună protecţie în timpul stocării, transportului şi al manipulării. Dimensiunile standard ale lăţimii benzii sunt: 8, 12, 16, 24, 32 mm.

Pentru circuitele integrate cu gabarit mare şi componentele cu forme atipice, care nu se acomodează la ambalarea pe rolă, s-au configurat tuburi (baghete). Pe o baghetă se găsesc aproximativ 200 de componente. Ca şi în cazul rolelor, maşina de plantat asigură, prin mecanismele proprii, avansul componentelor, într-o cadenţă şi cu un pas regulat şi reglabil.

Materialele folosite în tehnologia SMD includ: materialul, circuitul imprimat, adezivi, aliaje de lipit, decapanţi dezoxidanţi, măşti protectoare electric sau chimic, agenţi de curăţare.

Alegerea substratului circuitului imprimat depinde de tipul componentelor, densitatea de plantare şi de costuri.

Adezivii de înaltă eficienţă sunt folosiţi pentru a reţine componentele în poziţiile corecte pe substrat în timpul plantării şi al solderizării (în cazul solderizării în baie cu val).

Aliajele de lipit asigură lipirea componentei pe padurile circuitului imprimat: solderul ca topitură în cuva maşinii de cositorit în val, solder paste-ul ca strat conductiv (15-30 mm) depus prin printare pe padurile circuitului imprimat.

Alegerea aliajelor de lipit, a fluxurilor şi a agenţilor de spălare se face în contextul efectiv al procesului tehnologic.

Maşini automate sau semiautomate realizează preluarea componentelor de pe ambalajul lor şi plantarea pe circuitul imprimat, cu ajutorul unor capete de plantare. În linii mari, acestea sunt pensete cu vacuum, care „sorb" componenta şi o plantează în locul descris cu exactitate de programul maşinii. În fapt, capetele de plantat se configurează ca unităţi de plantare care includ una sau mai multe pensete.

Scanned with OKEN Scanner

Parametrii operației de plantare sunt: secvențialitatea și simultaneitatea, combinarea și realizarea acestora fiind specifică fiecărei mașini. Capacitatea de plantare, direct dependentă de configurarea unității de plantare, variază de la câteva sute la zeci de mii de componente pe oră.

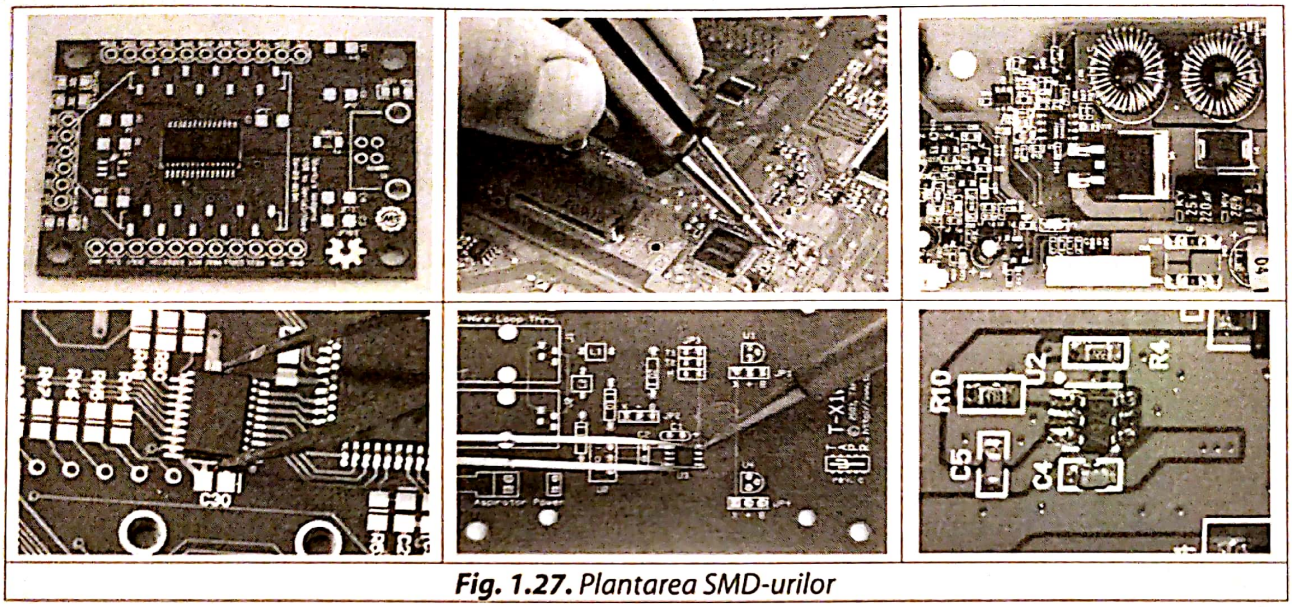


Fig. 1.27. *Plantarea SMD-urilor*

Există două metode importante de solderizare: *„cu val"* și *„prin recristalizare."*

În cazul metodei *„cu val"*, un adeziv special reține componenta de plantare. Acest adeziv polimerizează în cuptor, fază după care aderența componentei pe paduri este suficientă pentru a trece prin dublul val al mașinii de cositorit.

În cazul metodei *„prin recristalizare"*, solderul este o pastă de solderizare cu 10% flux în compoziție, care se depune pe padurile circuitului imprimat. La plantare, terminalele componentei se scufundă în solder paste. În cuptor se încălzește aliajul, are loc topirea, apoi recristalizarea.

Proiectarea PCB populate cu SMD introduce elemente specifice, cum ar fi:

- materialul substratului și componentele pot avea coeficienți termici diferiți și trebuie prevăzut un strat absorbant al stress-ului termic;
- poziția componentelor SMD este relativă față de padurile cu solder, ele pot aluneca în timpul procesului, de aceea dimensiunile componentelor, toleranța la dimensiune, toleranța padurilor, acuratețea de plantare a mașinii au alte semnificații decât în plantarea componentelor prin găuri;
- alegerea procesului de plantare, implicit proiectarea circuitului imprimat, este făcută în concordanță cu tipul echipării.

Primul pas în proiectarea unui circuit SMD constă în definirea amprentelor pentru toate componentele SMD. Parametrii proiectării care țin de dimensionarea amprentelor, toleranța la dimensiuni, poziția amprentelor rezultă în urma analizelor statistice sau sunt preluate din documentația de firmă.

Fișă de lucru

1. Examinează diferite cablaje imprimate, echipamente cu componente electronice și identifică tehnologia de montare a componentelor pe plăci.
2. Stabilește prin ce diferă tehnologia de montare în gaură de tehnologia de montare pe suprafață.
3. Stabilește prin ce diferă componentele cu terminale pentru montare în găuri de componentele SMD.
4. Identifică avantajele și dezavantajele utilizării tehnologiei de montare pe suprafață.
5. Realizează un referat cu tema „Tehnologia de montare pe suprafață".

Scanned with OKEN Scanner

Aprofundare

Pentru fabricarea unui circuit integrat tehnologia microelectronică face apel la un număr important de etape tehnologice elementare. *Ciclul complet de fabricaţie* al circuitelor integrate poate fi schematizat aşa cum se indică în figura 1.28.

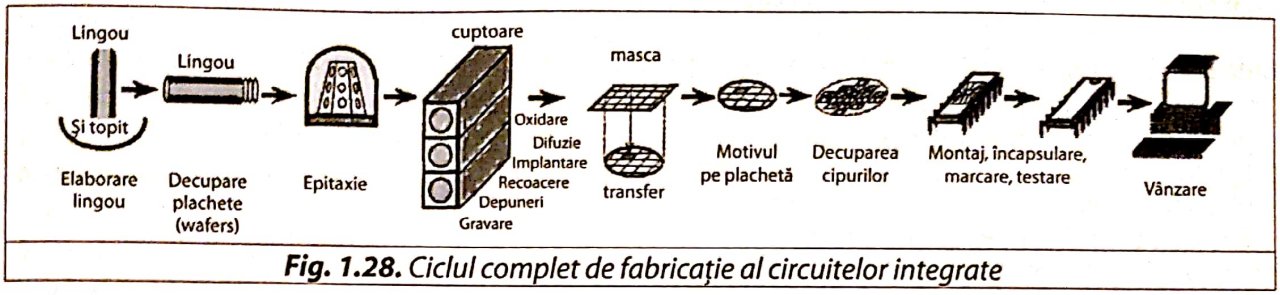


Fig. 1.28. *Ciclul complet de fabricaţie al circuitelor integrate*

În tehnologiile recente pot interveni până la 15 fotolitografii pe parcursul fabricării unui circuit.

După încheierea ciclului de fabricaţie (constând în parcurgerea unui număr de etape, uneori în mod repetat), plachetele sunt testate şi apoi decupate. Decuparea, realizată după direcţia axelor cristalografice, permite obţinerea *cipurilor.* Cipurile sunt apoi încapsulate (în capsule normalizate de circuit integrat), marcate şi testate. În unele cazuri, se montează mai multe cipuri în aceeaşi capsulă şi se interconectează prin trasee interne. Se limitează, astfel, numărul interconexiunilor externe. Acestea sunt numite *circuite hibride* şi pot avea mai multe sute de pini pentru conexiuni spre exterior.

Procedeele tehnologice recente ating uşor între 400 şi 500 de etape elementare. Se explică, astfel, de ce durata de fabricaţie a unui circuit integrat actual este de 2-3 luni, în funcţie de gradul de complexitate. Scopul unei tehnologii este acela de a produce circuite integrate cu performanţele dorite, cu fiabilitate maximă şi cu cheltuieli minime. Pentru aceasta, densitatea de integrare şi randamentul de fabricaţie trebuie să fie maxime.

Fişă tehnologică

- **Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un divizor de curent.**

Lucrare practică: Proiectarea şi realizarea divizorului de curent

Schema electrică	**Schema cablajului imprimat**
$R_1 = 1\ k\Omega$ $R_2 = 1{,}5\ k\Omega$	

Nr. crt.	**Operaţii (faze) tehnologice**	**Baza tehnico-materială**			**Evaluare**	
		SDV-uri	**AMC-uri**	**Materiale**	**Corect**	**Incorect**
1	citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2	selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		ohmmetru	rezistoare		
3	realizarea desenului cablajului imprimat pe foaia de calc, în raport 1/1			calc milimetric		
4	transpunerea desenului pe plăcuţa placată cu cupru	creion moale		plăcuţa placată cu cupru		
5	trasarea desenului pe placat	marker permanent				

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare	
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	Corect	Incorect
6	corodarea plăcuţei	cuvă		clorură ferică		
7	spălarea plăcuţei			apă curată		
8	îndepărtarea vopselei			dizolvant tampon de vată		
9	găurire	maşină de găurit				
10	identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat conform documentaţiei tehnice			cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură		
11	executarea preformării terminalelor conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		rezistoare conductori de legătură		
12	montarea componentelor în găuri	pensetă cleşti		cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură		
13	efectuarea lipiturilor	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		cablaj imprimat rezistoare conductori de legătură fludor		
14	verificarea montajului prin inspecţie vizuală			montaj		
15	conectarea la sursa de alimentare	sursă de alimentare		montaj		
16	măsurarea curenţilor	sursă de alimentare		montaj		

Barem de corectare şi notare

Nr. crt.	Criterii de realizare şi ponderea acestora		Indicatorii de realizare şi ponderea acestora	
1.	Primirea şi planificarea sarcinii de lucru	25%	Identificarea resurselor necesare realizării sarcinii de lucru	12 p
			Alegerea componentelor, sculelor, AMC-urilor, echipamentelor de protecţie adaptate sarcinii de lucru	10 p
			Respectarea normelor de protecţie a mediului, normativele, regulile de sănătate şi securitate a muncii	3 p
2.	Realizarea sarcinii de lucru	60%	Verificarea componentelor utilizate	5 p
			Realizarea cablajului imprimat conform cerinţelor	15 p
			Realizarea montajului conform cerinţelor	10 p
			Efectuarea lipiturilor conform cerinţelor	10 p
			Folosirea corespunzătoare a echipamentelor de lucru, a aparatelor de măsură şi control	5 p
			Argumentarea etapelor de realizare a sarcinii de lucru	10 p
			Respectarea normelor NTSM şi PSI	5 p
3.	Prezentarea şi promovarea sarcinii realizate	15%	Măsurarea tensiunii	10 p
			Folosirea corectă a terminologiei de specialitate	5 p
4	Se acordă 10 puncte din oficiu			10 p
5	TOTAL			100 p

Scanned with OKEN Scanner

1.6. Norme de sănătate şi securitate în muncă specifice

Activitatea practică în laborator/atelier începe cu instructajul de protecţia muncii, ca măsură de prevenire a accidentelor. În laboratorul de electronică, accidentele cu frecvenţa cea mai mare se datorează acţiunii curentului electric asupra organismului uman şi a arsurilor produse în timpul realizării cablajelor şi a lipirii componentelor electronice. Pentru a asigura securitatea deplină a elevilor, se recomandă respectarea următoarelor **reguli**:

- sursele de alimentare, generatoarele de semnal, osciloscoapele şi pistoalele de lipit se vor conecta numai la prize prevăzute cu împământare;
- aparatele care au izolaţia cablurilor deteriorată nu se conectează la reţeaua de alimentare cu tensiune;
- substanţele pentru corodarea plăcuţelor de circuit imprimat se utilizează în deplină siguranţă;
- este interzisă realizarea sau repararea montajelor electronice aflate sub tensiune;
- punerea sub tensiune a montajelor electronice se face după ce au fost verificate de profesor sau maistru instructor, sub supravegherea acestora;
- lucrările de măsurare sau vizualizare a diferitelor mărimi electrice în montajele realizate se fac fără atingerea părţilor metalice ale componentelor;
- lucrul trebuie întrerupt atunci când se observă unele defecte la aparatele din dotare;
- laboratorul/atelierul trebuie dotat cu minimum de materiale, care să asigure acordarea primului ajutor în caz de accidente.

Problemele cu caracter organizatoric aferente activităţii de măsurare pot influenţa hotărâtor (direct sau indirect) producerea accidentelor de muncă sau a îmbolnăvirilor profesionale, a securităţii personalului şi a aparatelor (instalaţiilor).

Datorită acestui lucru, se va acorda o atenţie deosebită următoarelor elemente:

- controlul frecvent al condiţiilor la locul de muncă;
- controlul dotării instalaţiilor şi al aparatelor cu dispozitive de tehnica securităţii muncii, precum şi a personalului, cu echipament şi materiale de protecţie, înainte de începerea lucrului;
- organizarea locului de muncă şi a activităţii respective;
- asigurarea disciplinei în muncă:
- nu se va lucra cu mâinile ude;
- se vor utiliza echipamentul şi materialele de protecţie individuală.

Este strict interzisă orice modificare a destinaţiei aparatului sau a utilajului, dacă acestea contravin normelor şi regulamentelor în vigoare.

Existenţa şi buna funcţionare a aparatelor de măsură şi control şi a dispozitivelor de protecţia muncii fac parte din buna organizare a locului de muncă.

La fiecare loc de muncă, vor fi afişate la loc vizibil instrucţiunile de protecţia muncii şi de lucru, însoţite de schemele aparatelor şi ale utilajelor şi de instrucţiunile de folosire.

Responsabilii locurilor de muncă sunt obligaţi să asigure organizarea corespunzătoare a activităţii, la fiecare loc de muncă, în condiţii de securitate a personalului şi a aparatelor, prin:

- verificarea bunei funcţionări a aparatelor şi a instalaţiilor, luând măsuri operative de remediere a deficienţelor;
- instruirea corespunzătoare a personalului, verificarea cunoştinţelor acestora, menţinerea strictă a ordinii şi disciplinei;
- repartizarea sarcinilor, îndrumarea şi controlul operaţiilor, asigurarea asistenţei tehnice permanente;
- asigurarea iluminatului, a încălzirii şi a ventilaţiei în laborator.

Personalul desemnat poate îndeplini lucrările de verificare numai după ce şi-a însuşit temeinic următoarele cunoştinţe:

- regulamentul de ordine interioară a unităţii;
- legislaţia de protecţie a muncii în vigoare, aferentă activităţii respective;
- normele de protecţie a muncii, generale, şi cele specifice locului de muncă;
- instrucţiunile de lucru;
- noţiunile de prim-ajutor.

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de documentare

Reguli generale de protecția muncii și PSI în activitățile din laborator/atelier

- se lucrează numai cu aparate a căror funcționare este bine-cunoscută. De asemenea, este interzisă folosirea altor instalații decât cele destinate lucrărilor din ziua respectivă. În toate cazurile când prevederile lucrării practice o cer sau atunci când apar complicații în timpul lucrării, trebuie consultat profesorul;
- în timpul lucrărilor practice se folosesc rareori substanțe corozive. În cazul când acestea ajung pe piele sau mucoase, trebuie imediat înlăturate cu o cârpă moale și apoi spălate cu apă din abundență;
- să nu se blocheze ușile de ieșire și nici căile de acces dintre mesele de laborator, deoarece, în cazul unui incendiu, s-ar îngreuna evacuarea. Conform regulilor de protecția muncii, este obligatorie anunțarea imediată a profesorului cu privire la orice accident produs în timpul lucrării de laborator;
- primul ajutor poate fi acordat de către asistent, respectiv de medicul cabinetului școlar.

Toate lucrările practice din laboratoarele de specialitate trebuie să fie executate în condițiile de totală securitate a muncii. Cadrele didactice și laboranții trebuie să vegheze permanent asupra mijloacelor și a instalațiilor de protecție a muncii și să ia toate măsurile necesare pentru preîntâmpinarea accidentelor.

Activitatea în cadrul laboratoarelor se duce, în general, de către elevi pe cele două direcții principale, și anume:

- activitate de instruire și formare prin efectuarea unor lucrări, constând din aplicații practice, conform prevederilor programelor școlare;
- o activitate de întreținere și reparații a instalațiilor și a agregatelor din laborator/atelier.

Ambele activități necesită luarea unor măsuri de protecție a muncii generale și specifice, menite să asigure securitatea deplină a elevilor.

În cadrul lucrărilor de laborator, elevii au de executat diferite manevre la panouri de comandă pentru a trece la diferite regimuri de funcționare, de a înregistra datele experimentale și de a le interpreta.

În timpul desfășurării lucrărilor de laborator pot apărea pericole de natură electrică, mecanică și termică.

Accidentele de natură mecanică pot proveni din mai multe cauze, dintre care enumerăm pe cele mai probabile: desfacerea șuruburilor de la cuple, ieșirea de pe axa cuplelor, fisurarea și ruperea cuplelor, griparea lagărelor, descentrarea rotoarelor.

Accidentele electrice pot proveni din mai multe cauze, cum ar fi:

- conectarea incorectă a fazelor și a nulului la bornele tablourilor;
- conectarea conductorilor la borne, când acestea sunt sub tensiune;
- punerea sub tensiune a carcaselor mașinilor și ale aparatelor.

Accidentele de natură termică pot apărea în special datorită efectului termic al unor curenți ce depășesc limitele admise.

Pentru evitarea tuturor acestor pericole, se vor respecta întocmai instrucțiunile referitoare la protecția muncii la lucrările practice de laborator:

Înainte de prima lucrare de laborator, elevii sunt obligați să ia cunoștință de conținutul regulilor de mai sus, să-și însușească prevederile instrucțiunilor N.T.S. și să completeze fișa de instructaj pentru protecția muncii.

Important!

Punerea și scoaterea de sub tensiune a laboratorului sau a atelierului se face numai de către laborant sau de către profesorul conducător. Este interzis accesul elevilor la tabloul general.

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de documentare

Efectul curentului electric asupra corpului omenesc

În cazul în care omul atinge simultan două corpuri bune conductoare de electricitate, între care există o diferență de potențial electric, de exemplu, două conductoare electrice neizolate, corpul său va fi străbătut de un curent electric, accident care se numește *electrocutare.*

Electrocutarea poate avea loc prin atingerea directă a părților din circuitele electrice sau prin atingerea indirectă, adică atingerea unei părți metalice care nu face parte din circuitul electric, dar este pus accidental sub tensiune, de exemplu carcasa unui motor electric cu izolația înfășurării deteriorată.

Tensiunea la care este supus omul la atingerea unui obiect intrat accidental sub tensiune este numită *tensiune de atingere.*

Efectele trecerii curentului electric prin corpul omului sunt: șocul electric și electrotraumatismele.

Șocul electric se produce atunci când valoarea curentului ce străbate corpul este sub 1 mA; omul nu simte trecerea acestuia.

La valori mai mari, până la 10 mA, au loc comoții nervoase la nivelul mâinilor și al picioarelor prin care trece curentul; se manifestă contracții ale mușchilor de la mâini, astfel omul se desprinde cu efort de obiectul aflat sub tensiune. Accidentul poate fi însoțit de acțiuni necontrolate de apărare, care pot conduce la dezechilibrarea și căderea omului de la înălțime.

Peste 10 mA, omul nu se mai poate desprinde singur de obiectul aflat sub tensiune și se poate produce șocul electric, curentul putând acționa asupra sistemului nervos sau inimii.

Acțiunea curentului electric asupra sistemului nervos poate avea ca efecte mai grave oprirea respirației.

Electrotraumatismele sunt cauzate de arcurile electrice care pot apărea, de exemplu, scurtcircuitarea accidentală a circuitelor electrice. Ele pot provoca orbirea, metalizarea pielii sau arsuri care pot distruge pielea, mușchii sau chiar oasele. Dacă arsurile se produc pe o suprafață mare sau ating organele vitale, pot provoca moartea accidentatului.

Factorii de care depinde gravitatea electrocutării sunt:

- *Rezistența electrică a corpului omului.* Ea poate fi considerată egală în medie cu 1000 Ω și depinde în cea mai mare măsură de starea pielii. Când stratul cornos al pielii este intact și uscat, rezistența corpului omenesc poate avea valori mult mai mari.
- *Când pielea este umedă.* Rezistența corpului omenesc poate scădea până la 200 Ω.
- *Calea de trecere a curentului prin corp.* Accidentul este mai periculos dacă în circuitul electric stabilit intră inima (mână-mână) sau (mână-picior) sau locuri de mare sensibilitate nervoasă (încheietura mâinii, ceafa, gâtul, talpa etc.).
- *Intensitatea curentului electric care trece prin corp.* Limita maximă a curenților nepericuloși se consideră de 10 mA în curent alternativ și 50 mA în curent continuu.
- *Tensiunea la care este supus omul.* Cu cât tensiunea este mai mare, cu atât pericolul de electrocutare este mai mare.
- *Frecvența curentului electric.* Curentul continuu este mai puțin periculos decât curentul alternativ. Curentul alternativ cu frecvența între 10 și 100 Hz este cel mai periculos în ce privește producerea de excitații. La frecvențe foarte mari nu există efecte de excitații periculoase, chiar și la intensități foarte mari. Aceste frecvențe (circa 500 000 Hz) sunt folosite la unele aparate electromedicale.
- *Durata de acțiune a medicamentului.* Cu cât această durată este mai mare, cu atât pericolul de fibrilație a inimii este mai mare. Dacă timpul este foarte scurt, de ordinul miimilor de secundă, nu se produce fibrilația. Practic, se consideră că un accident poate fi mortal dacă durata de acțiune a curentului depășește 0,1 s.

Scanned with OKEN Scanner

Măsuri de igienă și securitatea muncii

1. Măsuri de igienă

Pentru orice activitate care implică risc de accidente sau îmbolnăviri, angajatorul trebuie să ia următoarele **măsuri:**

- stabilirea unor reguli de securitate generale și specifice care să reducă riscurile și să prevină îmbolnăvirile;
- acordarea de echipament individual de protecție;
- instalații sanitare speciale: spălarea ochilor, antiseptice etc.;
- dispoziții speciale în cazul manipulării de substanțe chimice periculoase.

2. Măsuri de protecție colectivă

- mecanizarea sarcinilor care implică riscuri;
- modernizarea mașinilor și a utilajelor cu elemente de siguranță și protecție a omului;
- montarea exhaustoarelor în halele de producție;
- profilaxie: control medical periodic;
- modernizarea instalațiilor sanitare și aducerea lor la standarde europene;
- distrugerea posibililor vectori de contaminare biologică: dezinsecție, deratizare;
- curățarea și dezinfectarea locurilor de muncă.

3. Măsuri de protecție individuală

- respectarea procedurilor de lucru;
- instruirea corespunzătoare în domeniul securității și al sănătății în muncă;
- obligativitatea purtării echipamentului individual de protecție din dotare;
- vaccinarea lucrătorilor expuși la riscuri biologice;
- menținerea igienei personale;
- menținerea poziției corecte a corpului în timpul lucrului.

4. Echipamente individuale de protecție (EIP) și echipamente individuale de lucru (EIL)

Definiții:

1. EIL = echipament individual de lucru – echipament utilizat în procesul muncii, pentru protejarea îmbrăcămintei personale împotriva uzurii și a murdăririi excesive.

2. EIP = echipament individual de protecție – orice dispozitiv sau mijloc destinat a fi purtat sau ținut de o persoană, în scopul de a se proteja împotriva unuia sau a mai multor riscuri referitoare la sănătate și securitate.

Clasificarea echipamentelor individuale de protecție:

- după gradul de protecție asigurat;
- după zona corpului protejată.

Fișă de documentare

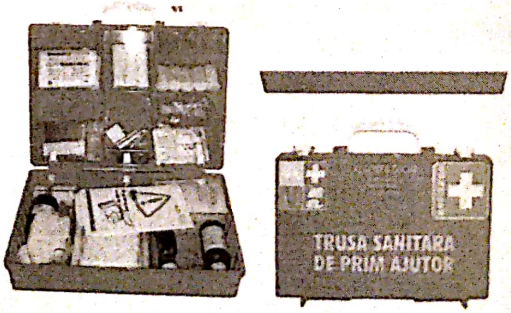
Trusa de prim ajutor

1. Ce este trusa de prim ajutor?

Este o trusă sanitară care se compune dintr-o cutie din material plastic, cu colțuri și muchii rotunjite, în care sunt depozitate instrumente și materiale sanitare, medicamente și materiale diverse.

Trusa de prim ajutor este omologată de Ministerul Sănătății și este obligatorie în posturi fixe de acordare a primului ajutor fără cadre medicale în spații în care se desfășoară activități:

- industriale, agricole și de prestări de servicii;
- comerț;
- învățământ, proiectare-cercetare;
- culturale și recreative.



Scanned with OKEN Scanner

2. Condiţii de omologare

a) să asigure etanşeitatea corespunzătoare pentru protejarea conţinutului faţă de praf şi umezeală printr-un sistem de închidere ferm;

b) să fie inscripţionată vizibil, de la o distanţă de minimum 5 m, cu denumirea produsului şi a furnizorului său, după caz, a producătorului;

c) să permită vizualizarea conţinutului sau să aibă inscripţionată lista conţinutului;

d) să fie dimensionată şi compartimentată corespunzător, în vederea depozitării şi a asigurării integrităţii componentelor prevăzute.

3. Conţiut

– alcool sanitar, alcool iodat, rivanol soluţie, perogen;
– feşi tifon, leucoplast, plasture, vată hidrofilă, compresă sterilă, pansamente cu rivanol;
– foarfece cu vârf bont, deschizător de gură, garou elastic, atele;
– bandaj triunghiular, mănuşi de examinare, ace siguranţă, pahar de unică folosinţă.

Important!

Calitatea materialelor sanitare, a instrumentelor şi a medicamentelor trebuie să fie verificată şi certificată în conformitate cu prevederile în vigoare ale Ministerului Sănătăţii.

Fişă de lucru

• **Analizează cu atenţie indicatoarele prezentate mai jos şi răspunde la următoarele cerinţe:**

a) Identifică, pe perioada desfăşurării stagiului de pregătire practică la operatorul economic, spaţiile semnalizate prin aceste indicatoare.

b) Identifică posibile urmări ale nerespectării semnificaţiei lor într-o dezbatere de grup cu tutorele de practică.

c) Realizează un afiş în care să semnalezi pericolele unui anumit loc de muncă.

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de lucru

Acordarea primului ajutor în caz de electrocutare

Salvarea accidentatului depinde de rapiditatea cu care acesta este scos de sub tensiune şi i se face respiraţie artificială. Intervenţia după un minut creează şanse de salvare de 95%, în timp ce, după 8 minute, şansele scad la 0,5%.

Acordarea primului ajutor constă în scoaterea accidentatului de sub tensiune şi efectuarea respiraţiei artificiale.

Scoaterea accidentatului de sub tensiune. Pentru aceasta, se scoate de sub tensiune instalaţia, acţionându-se întreruptorul care o alimentează. La liniile aeriene se poate arunca peste conductoarele liniei un conductor neizolat, care, în prealabil, a fost legat la pământ.

În instalaţiile de joasă tensiune, dacă nu este posibilă deconectarea instalaţiei, se îndepărtează accidentatul de părţile de sub tensiune şi salvatorul trebuie să ia măsuri să nu fie electrocutat, folosind mănuşi sau cizme izolante, călcând pe un covor izolant, o scândură uscată sau haine uscate. Se recomandă ca intervenţia să se facă cu o singură mână şi să se apuce de hainele accidentatului dacă sunt uscate.

Efectuarea respiraţiei artificiale. Dacă accidentatul încă mai respiră, este întins, i se deschid hainele şi, eventual, este fricţionat pe corp. Dacă accidentatul nu mai respiră, i se face imediat respiraţie artificială, care va fi continuată timp îndelungat, chiar 8-10 h, fără întrerupere. Decesul poate fi constatat numai de medic.

Pentru respiraţie artificială, se poate folosi una dintre metodele manuale sau metoda gură la gură sau gură la nas. Metoda manuală de respiraţie artificială, care poate fi aplicată de o singură persoană, este următoarea:

- se aşază accidentatul culcat, cu spatele în sus, cu capul pe o mână, cu faţa pe într-o parte şi mâna cealaltă de-a lungul corpului;
- se scoate limba accidentatului afară, folosindu-se la nevoie un lemn introdus între măsele (nu între dinţii din faţă);
- salvatorul se aşază în genunchi deasupra accidentatului, cu faţa spre capul lui, cuprinzând între genunchi coapsele acestuia, şi îşi aşază palmele pe coapsele inferioare, apucându-l lateral cu degetele răsfirate, degetele mari fiind paralele cu coloana vertebrală;
- salvatorul se apleacă înainte, cu mâinile întinse, numărând rar până la trei, realizând astfel respiraţia;
- se revine brusc la poziţia iniţială pentru a intra aer în plămâni (inspiraţia) şi se numără rar, 4, 5, 6;
- se repetă ciclul cu o frecvenţă de 12-15 apăsări pe minut.

1.7. Norme de protecţie a mediului specifice

Protejarea mediului este fundamentală în zilele noastre. În ultimele decenii, Europa a înţeles că trăieşte peste posibilităţile sale reale şi că modul nostru de viaţă pune planeta la încercare. Consumăm tot mai mult din resursele naturale şi punem în pericol sistemele de mediu (apa, solul şi aerul). Aceasta nu poate continua la nesfârşit, cu atât mai mult cu cât populaţia lumii continuă să crească.

Pe măsură ce omul a înţeles că este parte din natură şi că resursele Terrei sunt limitate, dar mai ales că această planetă funcţionează ca un sistem şi că dereglările produse într-un compartiment se transmit în întreg circuitul, a crescut interesul şi preocuparea pentru protecţia mediului înconjurător la toate nivelurile societăţii umane.

Începând din anii '70, au apărut primele semnale, tot mai vizibile, ale dereglărilor apărute la nivel global: subţierea stratului de ozon, modificările climatice, ploile acide, poluarea apelor, a aerului şi a solului.

Echipamentele electrice şi electronice sunt fabricate dintr-o gamă largă de materiale, inclusiv metale preţioase (cum ar fi argintul, aurul şi platina), metale grele toxice, metale rare, materiale plastice mixte, materiale ignifuge şi sticlă.

Metalele grele, ca, de exemplu, plumbul, cadmiul, mercurul, precum şi materialele ignifuge, pot cauza contaminarea mediului prin scurgerile care au loc de la gropile de gunoi în sol şi în sursele de apă. Prin reciclare,

Scanned with OKEN Scanner

acest tip de contaminare poate fi evitat şi resursele utile pot fi conservate, deoarece până la 95% din materiale pot fi recuperate pentru reutilizare.

La sfârşitul vieţii de funcţionare, aparatele electrice şi electronice utilizate devin deşeuri de echipamente electrice şi electronice.

Deşeurile echipamentelor electrice şi electronice (DEEE) constituie un mare pericol pentru mediul înconjurător. De aceea, acestea trebuie colectate separat şi reciclate conform standardelor. Cazul ideal este cel în care deşeurile sau componentele lor sunt refolosite.

Orice persoană fizică sau juridică utilizatoare a unui echipament electric şi electronic deţine un rol activ în protejarea mediului înconjurător. Cu alte cuvinte, fiecare dintre noi avem obligaţia de a contribui activ la reutilizarea, reciclarea şi alte forme de valorificare a echipamentelor electrice şi electronice.

La furnizarea unui produs nou, la solicitarea cumpărătorului, vânzătorul este obligat să preia DEEE în sistem „unul la unul", în mod gratuit, dacă echipamentul este de tip echivalent şi a îndeplinit aceleaşi funcţii ca echipamentul nou furnizat şi să informeze cumpărătorul despre această posibilitate înainte de achiziţionarea produsului.

Simbolul cu pubela tăiată care se găseşte pe echipamentele electronice şi pe ambalajul acestora indică faptul că echipamentele trebuie colectate separat de deşeurile menajere. Bateriile integrate pot fi predate spre reciclare împreună cu DEEE-ul.

Conform reglementărilor în vigoare, privind deşeurile de echipamente electrice şi electronice, acestea din urmă sunt gestionate (colectate şi tratate prin măsuri specifice) de operatori economici autorizaţi care acţionează în numele producătorilor de echipamente electrice şi electronice, care, la rândul lor, au obligaţia de a asigura finanţarea colectării, tratării, valorificării şi eliminării nepoluante a deşeurilor generate. Producătorii au obligaţia legală de a introduce în fabricaţie acele echipamente ale căror proiecte facilitează operaţiunile de demontare şi valorificare a componentelor şi prevăd posibilităţi de reutilizare şi reciclare a deşeurilor, a componentelor şi a materialelor lor.

Operatorii economici care sunt direct implicaţi în colectarea, tratarea, reciclarea, valorificarea şi eliminarea nepoluantă a deşeurilor de echipamente electrice şi electronice au obligaţia de a identifica şi încadra în categorii şi coduri de deşeuri electrice şi electronice, conform normelor în vigoare, în scopul colectării selective, precum şi de a întocmi documentaţia necesară depunerii declaraţiilor lunare către Administraţia Fondului de Mediu.

Legislaţia de mediu românească impune obligaţii de colectare selectivă şi unităţilor administrativ-teritoriale, care trebuie să organizeze, să gestioneze şi să coordoneze colectarea separată a deşeurilor de echipamente electrice şi electronice de la gospodăriile particulare, inclusiv a celor care nu conţin componentele esenţiale sau a celor care conţin alte deşeuri decât DEEE, şi să asigure transportul acestora la punctele de colectare prin intermediul serviciului public de salubrizare sau prin încredinţarea colectării deşeurilor echipamentelor electrice şi electronice unui operator economic colector autorizat de către agenţia pentru protecţia mediului.

Pentru a proteja mediul, a revalorifica resursele şi pentru a educa utilizatorii, legislaţia românească privind gestionarea corectă a DEEE-urilor prevede sancţiuni pentru orice persoană fizică sau juridică care aruncă la gunoi DEEE-urile, în loc să le predea colectorilor sau centrelor de colectare special amenajate.

Este important să înţelegem produsele electrice şi electronice de care ne folosim atât în viaţa personală, cât şi în cea profesională, atât în calitate de angajat, cât şi de angajator, deoarece numai prin cunoaşterea lor putem să creăm un mediu de trai şi de lucru curat, propice sănătăţii, care să asigure un viitor mai sigur.

Ştiaţi că ...?

- *Bateriile şi acumulatorii conţin metale toxice, cum ar fi cadmiu, mercur şi plumb. De aceea, ele sunt o sursă de deşeuri periculoase, care nu trebuie aruncate la coşul de gunoi, deoarece pot cauza contaminarea mediului prin scurgerile care au loc de la gropile de gunoi în sol şi în sursele de apă.*
- *Un tub catodic al unui televizor poluează 50 m² de sol timp de 30 de ani.*
- *Dacă ar fi incinerate, deşeurile de echipamente electrice şi electronice ar elibera anual o cantitate de 36 t de mercur şi 16 t de cadmiu.*

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de documentare

Norme de protecția mediului specifice

Problemele cu caracter organizatoric aferente activității de măsurare pot influența hotărâtor (direct sau indirect) producerea accidentelor de muncă sau a îmbolnăvirilor profesionale, a securității personalului și a aparatelor (instalațiilor).

Datorită acestui lucru, se va acorda o atenție deosebită următoarelor elemente:

- controlul frecvent al condițiilor la locul de muncă;
- controlul dotării instalațiilor și al aparatelor cu dispozitive de tehnica securității muncii, precum și a personalului, cu echipament și materiale de protecție, înainte de începerea lucrului;
- organizarea locului de muncă și a activității respective;
- asigurarea disciplinei în muncă:
- nu se va lucra cu mâinile ude;
- se vor utiliza echipamentul și materialele de protecție individuală.

Este strict interzisă orice modificare a destinației aparatului sau a utilajului, dacă aceasta contravine normelor și regulamentelor în vigoare.

Existența și buna funcționare a aparatelor de măsură și control și a dispozitivelor de protecția muncii fac parte din buna organizare a locului de muncă.

La fiecare loc de muncă vor fi afișate la loc vizibil instrucțiunile de protecția muncii și de lucru, însoțite de schemele aparatelor și ale utilajelor și de instrucțiunile de folosire.

Responsabilii locurilor de muncă sunt obligați să asigure organizarea corespunzătoare a activității la fiecare loc de muncă, în condiții de securitate a personalului și a aparatelor, prin:

- verificarea bunei funcționări a aparatelor și a instalațiilor, luând măsuri operative de remediere a deficiențelor;
- instruirea corespunzătoare a personalului, verificarea cunoștințelor acestora, menținerea strictă a ordinii și disciplinei;
- repartizarea sarcinilor, îndrumarea și controlul operațiilor, asigurarea asistenței tehnice permanente;
- asigurarea iluminatului, a încălzirii și a ventilației în laborator.

Personalul desemnat poate îndeplini lucrările de verificare numai după ce și-a însușit temeinic următoarele cunoștințe:

- regulamentul de ordine interioară a unității;
- legislația de protecție a muncii în vigoare, aferentă activității respective;
- normele de protecție a muncii, generale și cele specifice locului de muncă;
- instrucțiunile de lucru;
- noțiunile de prim-ajutor.

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

Realizați un miniproiect cu tema: „Măsuri de protecție a mediului", organizați în echipe formate din 2-3 elevi.

Pentru realizarea cerinței formulate, aveți de îndeplinit următoarele *sarcini de lucru*:

- Identificați sursele de poluare de la locul de muncă și din vecinătatea acestuia.
- Stabiliți mijloacele pentru îndepărtarea surselor de poluare și a efectelor.
- Evaluați activitatea echipelor privind protecția mediului.
- Pe baza următoarei fișe, autoevaluați-vă miniproiectul și munca desfășurată pentru realizarea acestuia (folosiți o scară de la 1-100 puncte, cu 10 puncte din oficiu).

Fișă de autoevaluare a proiectului

Organizarea propriei învățări	**Da**	**Nu**	**Punctaj**
– am identificat scopurile;			
– mi-am definit sarcinile de lucru.			
Documentarea practică	**Da**	**Nu**	**Punctaj**
– am efectuat investigații pentru realizarea proiectului;			
– am analizat situația reală la locul de muncă;			
– am solicitat clarificări din partea maistrului instructor/tutorelui de practică.			
Am determinat realizarea eficientă a proiectului în echipă	**Da**	**Nu**	**Punctaj**
– am sugerat măsuri optime pentru protejarea mediului;			
– m-am oferit voluntar când trebuia îndeplinită o sarcină.			
Încurajarea spiritului de echipă	**Da**	**Nu**	**Punctaj**
– am încurajat manifestarea originalității, opiniei personale;			
– mi-am susținut punctele de vedere și opiniile într-un mod personal.			
Rezolvarea problemelor	**Da**	**Nu**	**Punctaj**
– am căutat soluții alternative;			
– am ajutat echipa să ia decizii corecte.			
Total			

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 2
Materiale semiconductoare. Joncțiunea *pn*

2.1. Materiale semiconductoare

Tehnologia dispozitivelor semiconductoare este bazată pe utilizarea la scară largă a două elemente: **germaniul** și **siliciul**. Ele se găsesc în grupa a IV-a a tabelului periodic al elementelor chimice, având câte patru electroni de valență. Pe lângă acestea, se folosesc și compuși semiconductori.

Din categoria compușilor semiconductori, putem aminti: sulfuri (sulfura de zinc, sulfura de cadmiu etc.), carburi (carbura de siliciu), oxizi (oxidul cupros, amestecuri de oxizi de crom, mangan, fier, cobalt, nichel etc.).

Observație *În construcția dispozitivelor semiconductoare se utilizează și elemente din grupele III și V, fie sub formă de impurități controlate în masa de siliciu sau de germaniu, fie sub formă de compuși intermetalici, ca de exemplu GaAs sau InSb.*

Într-o imagine foarte simplificată, un atom este constituit dintr-un nucleu central, în jurul căruia se rotesc electronii. În nucleu este concentrată, practic, masa întregului atom; nucleul este încărcat pozitiv, electronii ce gravitează în jurul lui având o sarcină negativă totală care compensează, ca valoare, încărcarea pozitivă a nucleului, astfel încât un atom este neutru din punct de vedere electric.

Electronii dintr-un atom se grupează în straturi, în funcție de energia pe care o au.

În figura 2.1.a este prezentată gruparea electronilor în straturi în cazul nucleului de germaniu.

Electronii de pe ultimul strat sunt cel mai slab legați de atom, deoarece ei se află la distanța cea mai mare de nucleu. Aceștia se numesc *electroni de valență*, deoarece determină valența elementului respectiv.

Atât ***germaniul***, cât și ***siliciul*** au câte ***patru electroni pe ultimul strat***, adică au ***patru electroni de valență***. Într-un cristal, un atom de germaniu sau de siliciu își creează legături cu patru atomi vecini. Legătura dintre doi atomi vecini este realizată de către doi electroni, câte unul din fiecare atom. În felul acesta, în jurul fiecărui atom, pe ultimul strat, se vor găsi câte opt electroni: patru electroni proprii și patru electroni împrumutați, câte unul de la fiecare atom vecin. Acest tip de legătură chimică se numește **legătură covalentă**. Structura legăturii covalente este reprezentată în figura 2.1.b (în mod convențional, deoarece atomii dintr-un cristal sunt dispuși în spațiu).

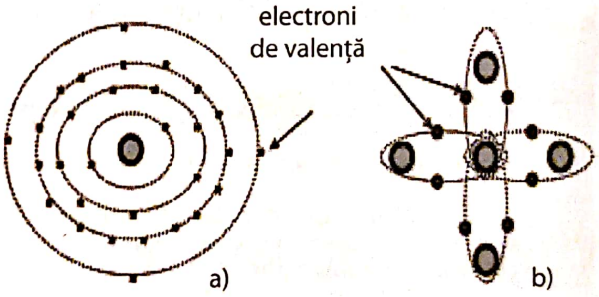


Fig. 2.1. *Atomul de germaniu*

2.2. Electroni liberi și goluri

Să considerăm un cristal de semiconductor la temperatura de 0 K. În acest caz, toți electronii de valență care realizează legăturile dintre atomi sunt fixați în cadrul legăturii respective (fig. 2.1.b). În această situație, în cristal nu există electroni liberi. Cristalul este un izolator perfect. În cazul în care temperatura crește, cristalul acumulează energie. Această energie suplimentară se regăsește atât la nivelul atomilor care formează rețeaua cristalină, cât și la nivelul electronilor. Astfel, unii electroni devin atât de energici, încât reușesc să „evadeze" din legătura în care erau ținuți în captivitate. Un astfel de electron „evadat" se va putea deplasa în interiorul cristalului de semiconductor și se va numi „**electron liber**".

Dacă între două fețe opuse ale cristalului se aplică o tensiune electrică, aceasta va crea în interiorul acestuia un câmp electric care, prin forța cu care acționează asupra electronilor, va determina o deplasare ordonată a acestora; cu alte cuvinte, prin semiconductor va începe să circule un curent electric. Dacă temperatura continuă să crească, numărul electronilor liberi va crește, deci și valoarea curentului electric va crește. Prin urmare, ***conductibilitatea semiconductorului crește cu creșterea temperaturii*** (spre deosebire de materialele conductoare, în cazul cărora conductibilitatea scade odată cu creșterea temperaturii).

Scanned with OKEN Scanner

Alături de acest proces de conducție, mai există însă unul. În urma electronilor „evadați", în cristal au rămas o serie de ***legături covalente incomplete (cu electroni lipsă)***. Datorită agitației termice, se poate întâmpla ca un electron dintr-o legătură vecină, completă, să „evadeze" și să completeze o legătură incompletă, lăsând, la rândul său, o nouă legătură incompletă. Prin acest procedeu, numărul de legături incomplete a rămas același, dar s-a modificat dispunerea lor spațială. Dacă semiconductorul este introdus într-un câmp electric, atunci asemenea electroni se vor deplasa în sens invers câmpului. Se observă ușor că această deplasare a electronilor din legătură incompletă în legătură incompletă dă naștere unui curent electric. În fond acest curent electric este determinat de deplasarea locului vacant, din legătură vacantă în legătură vacantă. Locul vacant se deplasează în sensul câmpului electric. Ca atare, ***locul vacant se comportă ca o sarcină electrică pozitivă.***

Într-un semiconductor, alături de conducția curentului electric prin electroni, are loc, în mod simultan, și conducția curentului electric prin locuri vacante. Locurile vacante au căpătat denumirea de **goluri.**

Ca și electronul, **golul trebuie considerat o particulă electrică, dar pozitivă**, care ia parte la procesul de conducție a curentului electric. Deoarece atât electronii, cât și golurile iau parte la procesul conducției electrice și au sarcină electrică, ei se numesc **purtători de sarcină.** Semiconductorul pur se mai numește **semiconductor intrinsec.**

2.3. Semiconductoare cu impurități

În construcția dispozitivelor electronice, semiconductoarele pure se utilizează foarte rar, deoarece introducerea, în mod intenționat, a unor impurități convenabil alese conferă materialului semiconductor proprietăți noi, foarte avantajoase.

Să presupunem că, într-un semiconductor pur, se introduc ***impurități pentavalente (cu 5 electroni pe ultimul strat)***, de exemplu, fosfor (P).

În figura 2.2.a este reprezentat modelul bidimensional al unei rețele cristaline semiconductoare impurificate cu atomi pentavalenți, iar în figura 2.2.b este ilustrat un detaliu al rețelei, care cuprinde un singur atom de impuritate.

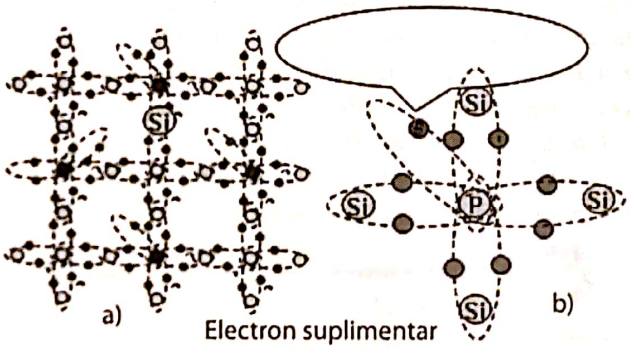


Fig. 2.2. *Semiconductor cu impurități donoare*

Atomul pentavalent va ocupa în rețeaua cristalină locul unui atom tetravalent. În cristalul pur, fiecare atom își creează legături cu 4 atomi vecini prin intermediul celor 4 electroni de valență. Atomul de impuritate are însă 5 electroni de valență. ***Patru dintre cei 5 electroni de valență participă la formarea legăturilor covalente cu cei 4 atomi vecini. Cel de-al cincilea electron nu mai are nicio legătură disponibilă la care să participe.*** Acest electron, nefiind prins în nicio legătură și fiind atașat nu la doi atomi vecini, ci doar la unul singur, poate să devină, mult mai ușor, electron liber. De obicei, legătura acestui electron cu atomul de impuritate este atât de slabă încât, la temperatura camerei, ***majoritatea acestor electroni devin liberi.***

Prin acest procedeu ***iau naștere numai electroni liberi***, în urma lor nerămânând nicio legătură incompletă. Prin urmare, prin acest procedeu ia naștere numai un singur tip de purtători de sarcină, în cazul de față numai electroni liberi.

Asemenea impurități care formează numai electroni liberi se numesc **impurități donoare**. Semiconductoarele cu impurități donoare se numesc **semiconductoare de tip *n*.**

De reținut!
În orice semiconductor, indiferent de natura impurităților, au loc și procese de generare de electroni liberi și goluri, pe cale termică. Rezultă că, într-un semiconductor de tip *n*, există și goluri, numai că numărul lor este mult mai mic decât cel al electronilor liberi.

Purtătorii de sarcină care, într-un semiconductor, se află în ***număr mai mare*** se numesc **purtători majoritari**, iar cei care se află ***în număr mai mic*** se numesc **purtători minoritari.**

Într-un semiconductor de tip n, electronii sunt purtători majoritari, iar golurile sunt purtători minoritari.

Să presupunem acum că în semiconductorul pur se introduc ***impurități trivalente (cu 3 electroni pe ultimul strat)***, de exemplu, bor (B).

Scanned with OKEN Scanner

În figura 2.3.a este reprezentat modelul bidimensional al unei rețele cristaline semiconductoare impurificate cu atomi trivalenți, iar în figura 2.3.b este ilustrat un detaliu al rețelei, care cuprinde un singur atom de impuritate.

Deoarece atomul de impuritate are numai trei electroni care pot participa la legăturile covalente cu cei 4 atomi vecini, ***una dintre legături este incompletă***. Datorită agitației termice, un electron dintr-o legătură vecină, completă, ***poate să părăsească legătura respectivă și să completeze legătura incompletă, lăsând în urma sa altă legătură incompletă***. Se observă că, în urma unui asemenea proces, ***iau naștere numai goluri***, deoarece electronul care a părăsit o legătură va fi capturat în altă legătură incompletă.

Asemenea impurități care ***„acaparează" electroni*** *lăsând goluri în urma lor* se numesc **impurități acceptoare. Un semiconductor cu *impurități acceptoare* se numește semiconductor de *tip p*.**

Este evident că într-un semiconductor de tip *p* există și electroni liberi, generați pe cale termică, dar care se află în număr mult mai mic decât golurile.

Într-un semiconductor de tip *p*, golurile sunt purtători majoritari, iar **electronii sunt purtători minoritari.**

Deoarece, într-un semiconductor impurificat, numărul purtătorilor majoritari este mult mai mare decât numărul purtătorilor minoritari, rezultă că, printr-un asemenea semiconductor, ***curentul electric este determinat, în principal, de purtătorii majoritari***.

Ca atare, ***într-un semiconductor de tip n, curentul electric este determinat de electroni, iar într-un semiconductor de tip p, este determinat de goluri***.

Într-un semiconductor impurificat, pentru fiecare atom de impuritate apare câte un purtător de sarcină care participă la conducția electrică. Rezultă că ***valoarea rezistivității materialului poate fi controlată prin numărul de atomi de impuritate introduși în unitatea de volum de cristal***.

Un semiconductor cu impurități se mai numește **semiconductor extrinsec.**

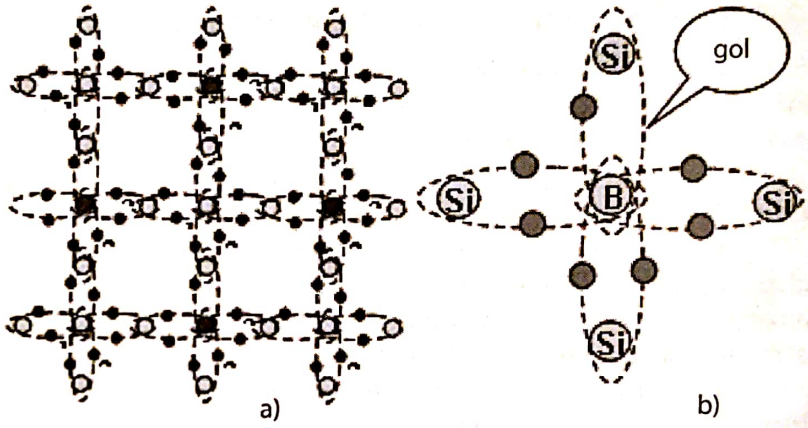


Fig. 2.3. *Semiconductor cu impurități acceptoare*

Știați că ...?

Dacă la fiecare 1000 de atomi ai semiconductorului de bază se introduce, prin dopare, un atom de impuritate, într-un centimetru cub, care conține 10^{22} atomi ai semiconductorului de bază, vor reveni 10^{19} atomi de impuritate și tot atâția purtători de sarcină. Pin urmare, deși în număr mic față de numărul total de atomi ai semiconductorului, impuritățile asigură o cantitate mare de purtători de sarcină majoritari, modificând, în mod substanțial, rezistivitatea materialului.

2.4. Difuzia purtătorilor de sarcină

În general, în practică, doparea cu impurități a semiconductoarelor nu este uniformă, în sensul că unele regiuni sunt mai puternic impurificate, iar altele mai puțin. În regiunile mai puternic impurificate, concentrația purtătorilor de sarcină este mai mare, în comparație cu regiunile mai puțin dopate. Din această cauză, ***purtătorii de sarcină încep să se deplaseze din regiunile cu concentrație mai mare spre cele cu concentrație mai mică***. Spunem că ***purtătorii de sarcină difuzează dinspre regiunile cu concentrații mari de impurități spre regiunile cu concentrații mai mici***.

Difuzia purtătorilor de sarcină printr-un semiconductor este asemănătoare cu fenomenul de difuzie întâlnit la gaze. Difuzia purtătorilor de sarcină, reprezentând deplasarea unor purtători de sarcină, dă naștere unui curent electric. Acest curent se numește **curent de difuzie.**

De reținut!

În cazul în care curentul electric apare ca urmare a deplasării purtătorilor de sarcină sub influența unui câmp electric, acesta se numește curent de câmp.

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

I. Alege varianta corectă.

1. Materialelor semiconductoare le este caracteristică legătura:

a) chimică; b) mecanică;
c) ionică; d) covalentă.

2. Spre deosebire de metale, semiconductoarele prezintă o proprietate importantă pe care își bazează toate aplicațiile:

a) luciul metalic; b) constanta termică;
c) duritatea; d) existența unor procedee prin care se poate influența conductibilitatea.

3. Purtătorii de sarcină creați prin impurificare într-un cristal semiconductor, al căror număr predomină, poartă numele de:

a) purtători minoritari; b) impurități;
c) purtători majoritari; d) goluri.

4. Semiconductoarele de tip „n" se obțin prin impurificare cu următoarele elemente:

a) arseniu sau stibiu; b) bor sau aluminiu;
c) sodiu sau sulf; d) galiu sau iridiu.

5. La semiconductoarele de tip „n", golurile sunt purtători de sarcină:

a) majoritari; b) minoritari;
c) egali ca și concentrație cu electronii; d) nu există.

6. La semiconductoarele de tip „n", electronii sunt purtători de sarcină:

a) majoritari; b) minoritari;
c) egali ca și concentrație cu golurile; d) nu există.

7. Dacă impurificarea semiconductorilor se face cu elemente trivalente, atunci aceștia sunt de tipul:

a) *n*; b) *p*;
c) intrinseci; d) *p* sau *n*.

8. Semiconductoarele de tip „p" se obțin prin impurificare cu următoarele elemente:

a) arseniu sau stibiu; b) bor sau aluminiu;
c) bismut sau fosfor; d) sodiu sau sulf.

9. La semiconductoarele de tip „p", golurile sunt purtători de sarcină:

a) majoritari; b) minoritari;
c) egali ca și concentrație cu electronii; d) nu există.

10. La semiconductoarele de tip „p", electronii sunt purtători de sarcină:

a) majoritari; b) minoritari;
c) egali ca și concentrație cu electronii; d) nu există.

11. Pentru a produce siliciu de tip „p", atomii de impurități, potrivit aleși, trebuie să substituie atomii de siliciu din rețeaua cristalină a siliciului pur. Aceste impurități trebuie să aibă:

a) cinci electroni de valență; b) patru electroni de valență;
c) trei electroni de valență; d) doi electroni de valență.

12. La 0 K, într-un semiconductor pur există:

a) numai electroni liberi; b) numai goluri;
c) electroni liberi și goluri; d) nici electroni liberi, nici goluri.

Scanned with OKEN Scanner

13. Pentru a produce siliciu de tip „n", atomii de impurități, potrivit aleși, trebuie să substituie atomii de siliciu din rețeaua cristalină a siliciului pur. Aceste impurități trebuie să aibă:

a) cinci electroni de valență; b) patru electroni de valență;
c) trei electroni de valență; d) doi electroni de valență.

II. Completează spațiile libere pentru a obține o formulare corectă.

a) Conductibilitatea unui semiconductor pur ... (1) ... cu creșterea temperaturii.
b) Conductibilitatea unui metal ... (2) ... cu creșterea temperaturii.
c) Într-un semiconductor de tip *n* curentul electric este determinat de ... (3) ... .
d) Semiconductorul pur se mai numește semiconductor ... (4) ... .
e) Germaniul și siliciul au ... (5) ... electroni de valență.
f) Într-un semiconductor de tip *p* golurile sunt purtători ... (6) ..., iar electronii sunt purtători ... (7) ... .

III. Cu ajutorul tabelului lui Mendeleev, completează tabelul următor:

Elementul	Ge	Si	As	Ir	In	St	B	Bi	P	Al	Ga	Se
Nr. electroni pe stratul de valență	4						3		5			
Tip de material	Semiconductor pur						Impuritate acceptoare		Impuritate donoare			

IV. Stabilește valoarea de adevăr a propozițiilor de mai jos.

a) Electronii dintr-un atom aflați pe orbita cea mai apropiată de nucleu se numesc electroni de valență.
b) Atomii elementelor pure din punct de vedere electric sunt neutri.
c) Valoarea rezistivității semiconductoarelor extrinseci nu depinde de numărul atomilor de impuritate ce au dopat semiconductoarele.
d) Într-un semiconductor de tip *p*, numărul electronilor liberi este egal cu numărul golurilor.

2.5. Joncțiunea *pn*

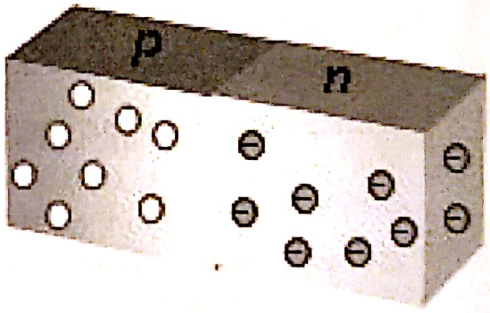


Fig. 2.4. *Joncțiunea pn*

Dispozitivele semiconductoare pot avea în construcția lor regiuni ale rețelei monocristaline cu diverse impurificări, atât ca mărime a concentrației de impurități, cât și ca tip. Materialele semiconductoare care prezintă un singur tip de impurificare se numesc **materiale semiconductoare omogene**.

Joncțiunea *pn* (fig. 2.4) reprezintă o structură fizică realizată într-un monocristal semiconductor. Este esențial faptul că joncțiunea ***pn*** este realizată dintr-un ***singur monocristal semiconductor***, în care există două zone cu tip diferit de impurificare și, ***în niciun caz***, nu se realizează prin alipirea a două cristale semiconductoare impurificate diferit. ***O joncțiune pn are două regiuni vecine, una de tip p și alta de tip n.***

Marea majoritate a dispozitivelor semiconductoare au în structura lor fizică una sau mai multe joncțiuni ***pn***.

2.6. Joncțiunea *pn* în echilibru

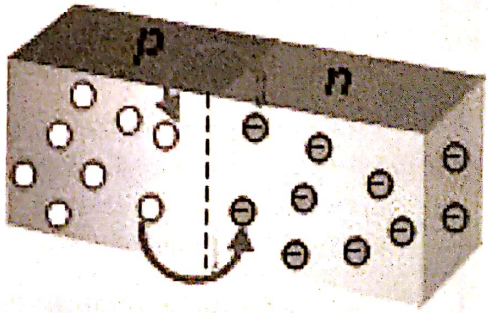


Fig. 2.5. *Deplasarea purtătorilor majoritari*

Pentru a înțelege fenomenele care au loc într-o joncțiune *pn*, vom considera că, în regiunea ***p***, sunt numai impurități acceptoare, în concentrație constantă N_A, iar în regiunea ***n*** sunt numai impurități donoare, de asemenea în concentrație constantă N_D (fig. 2.5).

Electronii în zona n și golurile în zona p sunt purtători majoritari, iar golurile în zona n și electronii în zona p sunt purtători minoritari.

Scanned with OKEN Scanner

În această situație:

- electronii majoritari din zona ***n*** tind să ocupe golurile majoritare din zona ***p***.

Spunem că electronii ***difuzează*** din zona ***n*** spre zona ***p***, unde devin purtători de sarcină minoritari.

- în același timp, golurile majoritare din zona ***p*** tind să se deplaseze spre zona ***n***, unde există un deficit de goluri.

Întrucât are loc o ***deplasare efectivă de sarcini electrice***, rezultatul va fi un **curent electric** numit **curent de difuzie** (apare ca urmare a fenomenului de difuzie a purtătorilor majoritari).

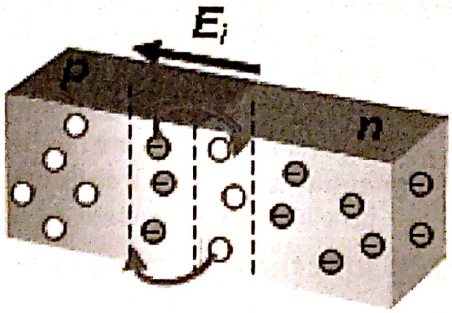


Fig. 2.6. *Formarea câmpului electric intern (E_{int})*

Procesele de difuzie încep, evident, cu purtătorii din apropierea liniei de demarcație dintre cele două regiuni. În apropierea liniei de demarcație, în zona ***p***, prin sosirea electronilor, va apărea un ***surplus de sarcini electrice negative (ioni negativi)***. Prin plecarea electronilor din zona ***n***, în urma lor, în apropierea liniei de demarcație, rămâne un ***exces de sarcini electrice pozitive (ioni pozitivi)***. Ca urmare, se stabilește un **câmp electric intern** (E_{int}), *orientat de la regiunea* ***n*** *către regiunea* ***p*** (fig. 2.6).

Acest câmp electric intern transportă, la rândul lui, electronii dinspre regiunea *p* spre regiunea *n* și golurile, dinspre regiunea *n* spre regiunea *p*. Ca urmare, apare un **curent de câmp**, *în sens contrar curentului de difuzie.*

În consecință, procesul de difuzie nu continuă până la uniformizarea concentrațiilor de purtători de sarcină, ci *se autolimitează* (prin generarea câmpului electric intern) la valori care asigură **echilibrul curenților de difuzie și de câmp**. Această situație corespunde unui *curent electric nul* prin structură.

În concluzie, în cazul joncțiunii ***pn, după o mișcare inițială de purtători majoritari, într-un sens (curent de difuzie), și de purtători minoritari, în sens opus (curent de câmp), se realizează un echilibru electric în care joncțiunea prezintă trei zone:***

- **două zone neutre**, de tip ***p***, respectiv ***n*** *și*
- **o zonă de trecere**, situată de o parte și de alta a suprafeței de demarcație, ca în figura 2.7.

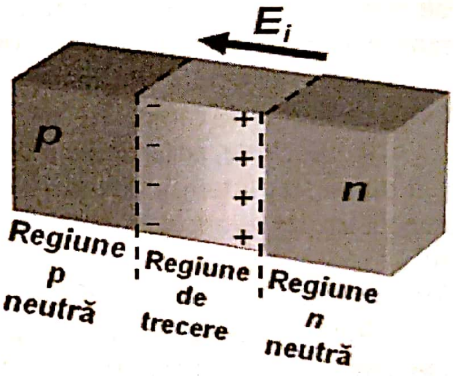


Fig. 2.7. *Joncțiunea pn la echilibru*

Regiunea de trecere se caracterizează printr-un număr foarte mic de purtători de sarcină, prin existența a două cantități de sarcină electrică, egale și de semn contrar, situate de o parte și de alta a sa, și prin prezența unui câmp electric îndreptat dinspre regiunea n spre regiunea p.

Regiunea de trecere se mai numește și **regiune de barieră**, deoarece prezența câmpului electric intern acționează ca o barieră asupra purtătorilor majoritari, împiedicându-i să mai înainteze, rezultatul fiind echivalent celui produs de un condensator încărcat, având la borne o anumită diferență de potențial.

De reținut!
Valoarea acestei „bariere de potențial", numită și *diferență internă de potențial*, depinde de material.
În cazul siliciului, diferența internă de potențial este de aproximativ 0,6 ÷ 0,7 V.
În cazul germaniului, diferența internă de potențial este de aproximativ 0,2 ÷ 0,3 V.

2.7. Joncțiunea *pn* în polarizare directă

Să conectăm la bornele unei joncțiuni *pn* o sursă de curent continuu, ca în figura 2.8. Borna „+" a sursei o conectăm la regiunea ***p***, iar borna „–" la regiunea ***n***. În această situație, spunem că **joncțiunea a fost polarizată direct.**

Tensiunea electrică a sursei va crea un câmp electric extern (E_{ext}), îndreptat dinspre regiunea ***p*** spre regiunea ***n***, adică *de sens contrar câmpului electric intern.*

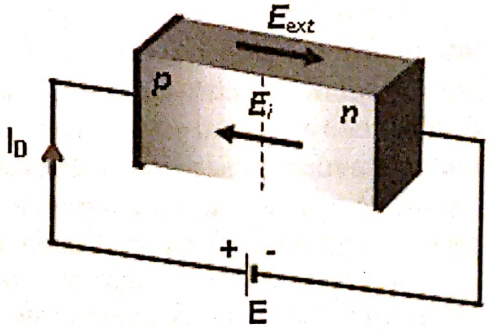


Fig. 2.8. *Joncțiunea pn polarizată direct*

Scanned with OKEN Scanner

Ca urmare, **câmpul electric rezultant se micşorează** ($E = E_{int} - E_{ext}$) şi acţiunea de frânare a deplasării purtătorilor de sarcină majoritari scade. În consecinţă, **numărul purtătorilor de sarcină majoritari care traversează regiunea de trecere creşte.**

Astfel, din regiunea ***n***, un număr de electroni majoritari ajung în regiunea ***p***, iar din regiunea ***p***, un număr mai mare de goluri majoritare ajung în regiunea ***n***.

În consecinţă, **joncţiunea *pn* este străbătută de un curent net dinspre regiunea *p* spre regiunea *n*.**

Este evident că **mărirea tensiunii directe** aplicate din exterior, prin micşorarea câmpului electric rezultant, duce la micşorarea barierei de potenţial şi, prin urmare, la **creşterea curentului prin joncţiune.**

Raţionamente pe care nu le reproducem aici arată că, printr-o joncţiune, **curentul electric creşte exponenţial cu tensiunea aplicată.**

2.8. Joncţiunea *pn* în polarizare inversă

Să conectăm la bornele unei joncţiuni *pn* o sursă de curent continuu, ca în figura 2.9. Borna „–" a sursei o conectăm la regiunea ***p***, iar borna „+" la regiunea ***n***. În această situaţie, spunem că **joncţiunea a fost polarizată invers.**

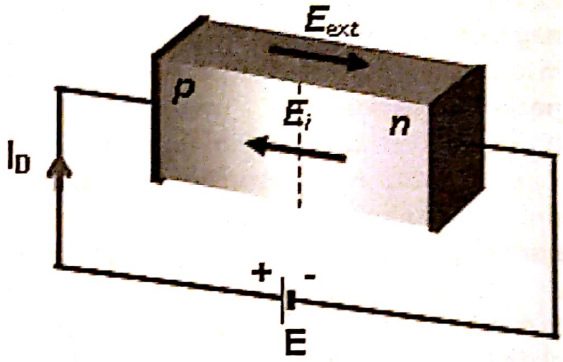


Fig. 2.9. *Joncţiunea pn polarizată invers*

Tensiunea electrică a sursei va crea un câmp electric îndreptat dinspre regiunea ***n*** spre regiunea ***p***, adică **de acelaşi sens** cu câmpul electric intern.

Ca urmare, **câmpul electric rezultant se măreşte** ($E = E_{int} + E_{ext}$), creşte bariera de potenţial şi **creşte acţiunea de frânare a deplasării purtătorilor de sarcină majoritari.** În consecinţă, **numărul purtătorilor de sarcină majoritari care traversează regiunea de trecere se micşorează foarte mult, până la anulare.**

Sensul câmpului electric creat în regiunea de barieră permite însă **trecerea purtătorilor minoritari,** sub forma curenţilor de câmp.

În concluzie, polarizarea inversă a joncţiunii ***pn*** determină un câmp electric rezultant mai mare decât câmpul electric intern, îndreptat de la zona ***n*** spre zona ***p***, câmp care împiedică deplasarea purtătorilor de sarcină majoritari, dar favorizează deplasarea purtătorilor de sarcină minoritari. Prin urmare, joncţiunea va fi străbătută de un curent electric, I_R (I_R este o notaţie consacrată pentru curentul invers, R – de la *Reverse*, în limba engleză) format numai din purtători de sarcină minoritari.

Valoarea acestui curent este foarte mică (10^{-9}... 10^{-6} A) şi practic independentă de tensiunea inversă aplicată. Acest curent se numeşte **curent invers** sau **curent rezidual.**

Valoarea curentului rezultat prin joncţiunea polarizată invers *nu depinde de valoarea tensiunii aplicate din exterior, ci numai de temperatură.*

De reţinut!
Pentru siliciu, curentul invers este de ordinul nanoamperilor (10^{-9}A).
Pentru germaniu, curentul invers este de ordinul microamperilor (10^{-6}A).

2.9. Străpungerea joncţiunii *pn*

După cum s-a putut observa, aplicarea unei tensiuni de polarizare inverse produce o **creştere a intensităţii câmpului electric** din regiunea de trecere. Dacă tensiunea aplicată pe joncţiune creşte suficient de mult, atunci se poate ajunge în situaţia în care câmpul electric este atât de puternic, încât energia câştigată de electronii accelerați este suficient de mare pentru ca aceştia, ***prin ciocniri cu atomii semiconductorului***, să determine ruperea unor legături covalente şi, astfel, ***să dea naştere la noi perechi electron-gol.*** Noii purtători de sarcină sunt accelerați, la rândul lor, de către câmpul electric şi sunt antrenați în procesul de formare a noii perechi electron–gol. Se obţine, astfel, o ***avalanşă de purtători de sarcină.***

Fenomenul descris mai sus poartă numele de **străpungere a joncţiunii *pn*.** Efectul străpungerii joncţiunii îl constituie ***creşterea, practic nelimitată, a curentului invers,*** la o anumită tensiune inversă aplicată joncţiunii, numită **tensiune de străpungere.** ***Străpungerea se datorează multiplicării în avalanşă a purtătorilor de sarcină*** (fig. 2.10).

Scanned with OKEN Scanner

Valoarea tensiunii de străpungere depinde de natura materialului semiconductor, de doparea cu impurități, de geometria structurii, de tehnologia de fabricație a dispozitivului semiconductor.

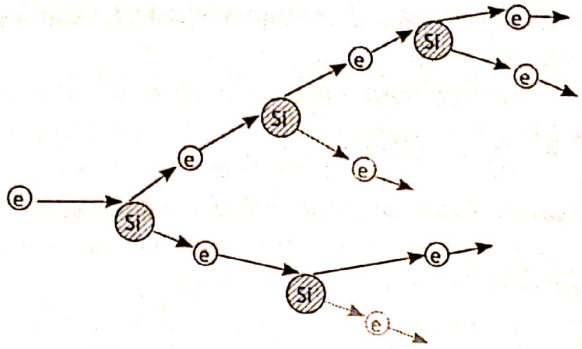


Fig. 2.10. *Multiplicarea în avalanșă*

Observație *Dacă circuitul electric exterior limitează valoarea curentului prin structură, astfel încât aceasta să nu se distrugă prin încălzire excesivă, fenomenul de străpungere este reversibil, în sensul că, în condițiile în care tensiunea inversă aplicată revine la o valoare sub nivelul celei de străpungere, curentul prin joncțiune scade la valoarea inițială (10^{-9}... 10^{-6} A).*

2.10. Caracteristica statică a joncțiunii *pn*

Caracteristica statică desemnează **dependența curentului** prin joncțiune, I_A, **de tensiunea de polarizare**, U_A, aplicată acesteia.

În figura 2.11 este prezentată caracteristica statică a unei joncțiuni ***pn*** în ambele situații de polarizare, utilizând scări diferite pentru polarizarea directă și pentru cea inversă.

Se observă că se pot delimita 5 zone:

◗ **zona I: corespunde polarizării directe.**

Căderea de tensiune pe joncțiune, U_A, este mai mică decât diferența internă de potențial a joncțiunii, U_0. ***În această zonă de funcționare, joncțiunea este străbătută de un curent direct de valoare mare.***

Există un domeniu de valori ale tensiunii directe ($0 < U_A < U_P$) pentru care valoarea curentului este foarte mică, practic egală cu zero. Valoarea tensiunii de la care valoarea curentului devine semnificativă, U_P, se alege în mod convențional și se numește **tensiune de prag (de deschidere) a joncțiunii.** Cu alte cuvinte, se poate spune că prin joncțiune trece un curent direct, de valoare mare, atâta timp cât tensiunea pe joncțiune este mai mare decât tensiunea de prag (de deschidere), U_P.

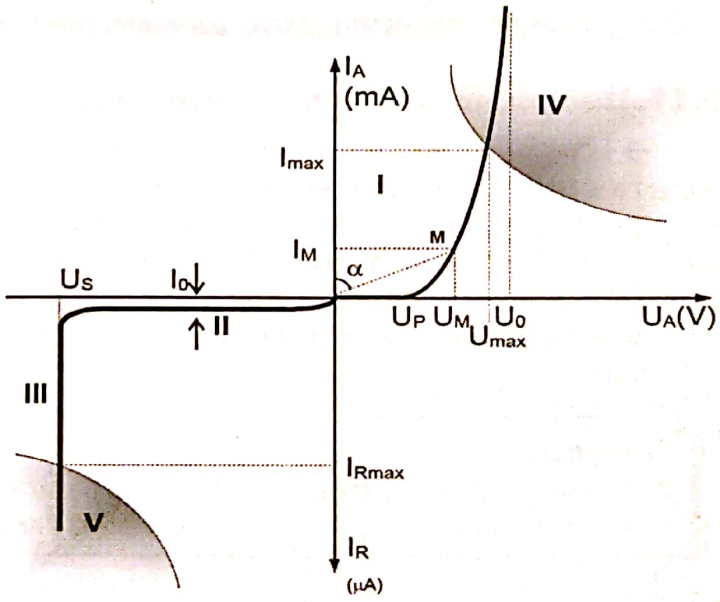


Fig. 2.11. *Caracteristica statică a joncțiunii pn*

Pentru $U_A > U_P$, ***tensiunea pe joncțiunea polarizată direct este aproximativ constantă,*** foarte apropiată de valoarea diferenței interne de potențial; valoarea tipică a acesteia este 0,7 V pentru siliciu și 0,3 V pentru germaniu.

Pentru alte materiale semiconductoare, valoarea lui U_0 ia alte valori; de exemplu pentru arseniura de galiu (GaAs) este de 1 V.

Întrucât curentul crește foarte rapid, în timp ce tensiunea se menține aproximativ constantă, ***rezistența joncțiunii polarizate direct este de valoare foarte mică.***

◗ **zona II: corespunde polarizării inverse.**

În situația de polarizare inversă, curentul care circulă prin joncțiune, I_0, ***nu depinde de valoarea tensiunii aplicate și este de valoare foarte mică,*** fiind determinat de purtătorii minoritari, al căror număr depinde numai

Scanned with OKEN Scanner

de temperatură și de natura semiconductorului. Acest curent se numește *curent invers, curent de saturație* sau *curent rezidual.*

Valorile tipice ale curentului invers sunt de ordinul 10^{-9} A pentru semiconductoarele realizate din siliciu și de 10^{-6} A pentru semiconductoarele realizate din germaniu.

Valoarea curentului invers variază puternic cu temperatura. Astfel, pentru siliciu, acesta se dublează la fiecare 6 °C, iar pentru germaniu, se dublează la fiecare 10 °C.

Datorită valorilor foarte mici ale curentului invers, este evident faptul că, ***în polarizare inversă, joncțiunea prezintă o rezistență foarte mare.***

◗ **zona III: corespunde străpungerii joncțiunii.**

Această zonă este caracterizată de creșterea puternică a curentului prin joncțiune, la o anumită tensiune, numită tensiune de străpungere (U_s).

Întrucât curentul crește foarte rapid, ***tensiunea la bornele joncțiunii se menține aproximativ constantă.***

Regiunea de străpungere, unde tensiunea este practic independentă de valoarea curentului, se mai numește și **regiune de stabilizare.**

◗ **zonele IV, V: corespund limitărilor datorate puterii disipate maxim admise.**

Creșterea curentului prin joncțiune peste anumite valori maxim admise duce la distrugerea structurii prin încălzire excesivă. Valorile maxime admise, I_{max}, respectiv I_{Rmax}, depind de tehnologia de fabricație a dispozitivului căruia îi aparține joncțiunea.

De reținut!
Caracteristica statică a joncțiunii *pn* arată că aceasta reprezintă un dispozitiv electronic neliniar (o structură fizică cu comportament neliniar).
Un dispozitiv electronic neliniar se caracterizează printr-o caracteristică a cărei formă nu este o linie dreaptă.

2.11. Dependența de temperatură a caracteristicii statice a joncțiunii *pn*

➔ În polarizare directă, creșterea temperaturii determină creșterea curentului prin joncțiune. Aceasta are ca efect o scădere a tensiunii pe joncțiune (cu alte cuvinte, curentul atinge o anumită valoare la tensiuni mai mici).

De obicei, în practică, se ia în considerare scăderea tensiunii pe joncțiune, determinată de creșterea temperaturii. Valoarea tipică a coeficientului de variație cu temperatura a tensiunii directe pe joncțiune este – 2 mV/°C.

➔ În polarizare inversă, după cum s-a evidențiat deja, valoarea curentului invers variază puternic cu temperatura.

De reținut!
Pentru siliciu, curentul invers se dublează la fiecare 6 °C.
Pentru germaniu, curentul invers se dublează la fiecare 10 °C.

2.12. Comportarea joncțiunii *pn* în regim dinamic

Regimul dinamic reprezintă funcționarea structurii în cazul aplicării unor semnale variabile în timp.

Să considerăm joncțiunea introdusă într-un circuit în care, alături de sursa de curent continuu de polarizare, există și un generator de semnal alternativ, ca în figura 2.12.

În această situație:

$u_A = E + u_a = E + U_a \sin\omega t$

Metoda cea mai folosită pentru studierea regimului dinamic constă în stabilirea unor ***circuite electrice echivalente*** cu care se înlocuiește joncțiunea în schema în care aceasta funcționează.

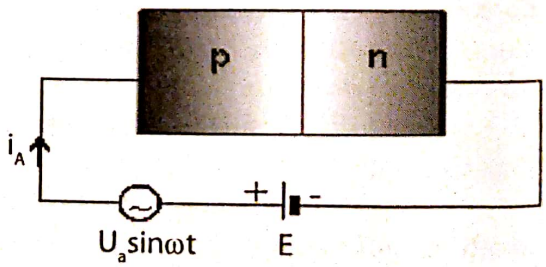


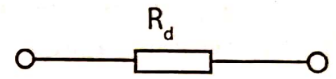
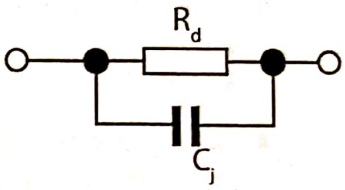
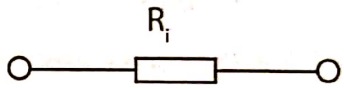
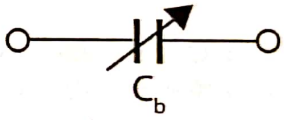
Fig. 2.12. *Joncțiunea pn în regim dinamic*

Scanned with OKEN Scanner

Circuitele echivalente se stabilesc pe baza fenomenelor fizice care au loc în structură (tabelul 2.1).

De reținut!
Circuitul echivalent nu este unic, el depinzând, de regulă, de polarizarea de curent continuu a joncțiunii și de frecvența semnalului variabil aplicat.

Tabelul 2.1

Polarizarea de curent continuu a joncțiunii și frecvența semnalului variabil aplicat	Comportarea joncțiunii *pn*	Circuitul echivalent
În polarizare directă, la tensiuni normale de lucru și la frecvențe joase	Rezistență de valoare mică	
În polarizare directă, la frecvențe înalte	Rezistență de valoare mică în paralel cu capacitatea joncțiunii	
În polarizare inversă, la tensiuni normale de lucru și la frecvențe joase	Rezistență de polarizare inversă, foarte mare, practic infinită	
În polarizare inversă, la frecvențe înalte	Capacitate electrică (de barieră)	

Rezumat

- *Joncțiunea **pn** reprezintă o structură fizică realizată într-un monocristal semiconductor.*
- *O joncțiune **pn** are două regiuni vecine, una de tip **p** și alta de tip **n**.*
- *În cazul joncțiunii **pn**, după o mișcare inițială de purtători majoritari, într-un sens (curent de difuzie), și de purtători minoritari, în sens opus (curent de câmp), se realizează un echilibru electric în care joncțiunea prezintă trei zone:*
  *– două zone neutre, de tip **p**, respectiv **n** și*
  – o zonă de trecere, situată de o parte și de alta a suprafeței de demarcație.
- *La polarizarea directă, joncțiunea **pn** este străbătută de un curent electric având sensul de la regiunea **p** spre regiunea **n**.*
- *Polarizarea inversă a joncțiunii **pn** determină un câmp electric rezultant mai mare decât câmpul electric intern, îndreptat de la zona **n** spre zona **p**. În acest caz este blocată deplasarea purtătorilor majoritari și este permisă deplasarea purtătorilor minoritari, astfel încât prin joncțiune circulă un curent foarte mic.*
- *Caracteristica statică a joncțiunii **pn** arată că aceasta reprezintă o structură fizică cu comportament neliniar. Un dispozitiv electronic neliniar se caracterizează printr-o caracteristică a cărei formă nu este o linie dreaptă.*

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

I. Alege varianta corectă.

1. Într-o joncțiune *pn* polarizată direct, curentul direct:
a) scade exponențial cu creșterea tensiunii de polarizare directă;
b) crește liniar cu creșterea tensiunii de polarizare directă;
c) nu depinde de creșterea tensiunii de polarizare directă;
d) crește exponențial cu creșterea tensiunii de polarizare directă.

2. Într-o joncțiune *pn* polarizată invers, curentul prin joncțiune este influențat de:
a) tensiunea inversă pe joncțiune; b) tensiunea directă pe joncțiune;
c) temperatură; d) solicitările mecanice aplicate joncțiunii.

3. Într-o joncțiune *pn*, realizată din siliciu și polarizată invers, valorile tipice ale curentului invers sunt de ordinul:
a) mA; b) A; c) μA; d) nA.

4. La creșterea temperaturii, curentul invers printr-o joncțiune de Si are următoarea variație:
a) aproximativ liniar; b) aproximativ se dublează la fiecare 6 °C;
c) aproximativ se dublează la fiecare 1 °C; d) nu variază.

5. Tensiunea pe o joncțiune *pn* realizată din siliciu, polarizată direct, este de ordinul:
a) 0,7 mV; b) 0,3 V; c) 0,7 V; d) 0,3 mV.

6. O joncțiune *pn* se obține prin:
a) alipirea a două regiuni semiconductoare impurificate de tip „p" și respectiv „n";
b) conectarea galvanică a două regiuni semiconductoare impurificate de tip „p", respectiv „n";
c) impurificarea aceluiași monocristal semiconductor, de o parte și de alta a unei suprafețe de separație, a două regiuni de tip opus, una de tip „p" și cealaltă de tip „n";

7. În joncțiunea *pn* nepolarizată apar curenți de difuzie care sunt alcătuiți din:
a) purtători minoritari ai ambelor zone; b) goluri;
c) electroni; d) purtători majoritari ai ambelor zone.

8. Într-o joncțiune nepolarizată, în rețeaua cristalină a semiconductorului, prin plecarea purtătorilor majoritari, de o parte și de alta a suprafeței de separație rămân atomi ionizați necompensați electric, de sarcină:
a) negativă în regiunea „p"; b) pozitivă în regiunea „n";
c) negativă în regiunea „p"; d) negativă în regiunea „n".

9. Într-o joncțiune *pn* nepolarizată ia naștere un câmp electric al cărui sens este:
a) de la zona „p" la zona „n"; b) de la zona „n" la zona „p";
c) în funcție de sensul tensiunii de polarizare; d) oarecare.

10. Dacă la extremitățile unei joncțiuni *pn* se aplică o sursă exterioară cu polul „+" în regiunea „p" și „–" pe regiunea „n" se spune că:
a) joncțiunea este nepolarizată; b) joncțiunea este polarizată direct;
c) joncțiunea este polarizată invers; d) joncțiunea este polarizată direct sau invers.

11. La polarizarea directă a joncțiunii *pn* lățimea zonei de barieră:
a) se micșorează; b) rămâne neschimbată;
c) își schimbă polaritatea; d) crește.

12. Printr-o joncțiune *pn* polarizată direct intensitatea curentului;
a) este mare și are sensul de la „p" la „n", indiferent de valoarea tensiunii de polarizare;
b) este mare și are sensul de la „n" la „p", indiferent de valoarea tensiunii de polarizare;

Scanned with OKEN Scanner

c) este mare și are sensul de la „p" la „n", dacă tensiunea de polarizare este mai mare decât tensiunea de deschidere (de prag);
d) este mare și are sensul de la „p" la „n", dacă tensiunea de polarizare este mai mică decât tensiunea de deschidere (de prag).

13. Printr-o joncțiune *pn* polarizată direct apare un curent direct care crește:
a) exponențial cu tensiunea de polarizare inversă;
b) exponențial cu tensiunea de polarizare directă;
c) logaritmic cu tensiunea de polarizare directă;
d) proporțional cu tensiunea de polarizare directă.

14. La polarizarea directă, joncțiunea *pn* prezintă o rezistență:
a) foarte mică; b) foarte mare;
c) medie; d) de zeci de ohmi.

15. Fenomenul de multiplicare în avalanșă constă în crearea de perechi electron-gol ca urmare a:
a) acțiunii unui câmp electric intens; b) creșterii temperaturii;
c) scăderii energiei electronilor liberi; d) scăderii temperaturii.

II. Rezolvă următoarele sarcini de lucru.

1. Completează spațiile libere pentru a obține o formulare corectă.
a) Joncțiunea *pn* polarizată direct este străbătută de un curent electric net dinspre regiunea ... (1) ... spre regiunea ... (2) ... . Acest curent este datorat purtătorilor ... (3) ... și este curent de ... (4) ... .
b) Într-o joncțiune *pn* realizată din germaniu, curentul invers are valori de ordinul ... (5) ... și se dublează la fiecare ... (6) ... °C.

2. Stabilește valoarea de adevăr a următoarelor afirmații.
a) Joncțiunea *pn*, polarizată direct, este străbătută de un curent electric net dinspre regiunea „p" spre regiunea „n".
b) Acest curent este datorat purtătorilor minoritari.
c) El este curent de câmp.
d) Curentul direct crește exponențial cu tensiunea de polarizare aplicată.
e) Curentul invers nu depinde de tensiunea de polarizare aplicată.

3. În coloana A a tabelului de mai jos sunt enumerate diferite situații de polarizare a joncțiunii *pn*, iar în coloana B, modul de comportare a acesteia. Stabilește asocierile corecte dintre fiecare cifră din coloana A și litera corespunzătoare din coloana B.

A		B	
Polarizarea joncțiunii *pn*		**Comportarea joncțiunii *pn***	
1	Polarizare directă, la frecvențe înalte	a	Capacitate electrică (de barieră)
2	Polarizare inversă, la tensiuni normale de lucru și la frecvențe joase	b	Rezistență de valoare mică în paralel cu capacitatea joncțiunii
3	Polarizare inversă, la frecvențe înalte	c	Rezistență de valoare mică
4	Polarizare directă, la tensiuni normale de lucru și la frecvențe joase	d	Rezistență de valoare foarte mare, practic infinită
		e	Rezistență de valoare mică în serie cu capacitatea joncțiunii

4. Reprezintă, pe fișa de evaluare, o joncțiune *pn* polarizată direct. Reprezintă pe desen câmpurile electrice care apar.

5. Reprezintă, pe fișa de evaluare, caracteristica statică a joncțiunii *pn*. Explică fenomenele fizice care au loc când se depășește puterea disipată maxim admisă.

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 3
Diode

3.1. Definiție

Dioda este un dispozitiv electronic care prezintă conducție electrică unilaterală, adică permite trecerea curentului într-un singur sens.

Marea majoritate a diodelor semiconductoare sunt realizate pe baza joncțiunii *pn*. În figura 3.1 sunt prezentate structura fizică (b) și aspectul fizic (c) ale diodei. Cei doi electrozi ai dispozitivului se numesc *anod* (A) și *catod* (C).

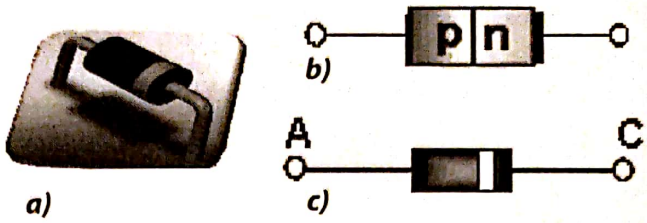


Fig. 3.1: ***a)*** *montare în circuit;* ***b)*** *structura fizică;* ***c)*** *aspect fizic.*

Dioda semiconductoare are două stări stabile: *starea de conducție* și *starea de blocare*.

Starea de conducție corespunde situației când joncțiunea este polarizată direct, adică potențialul anodului este mai mare decât potențialul catodului.

Diodele semiconductoare se realizează într-o mare varietate de tipuri, în funcție de utilizările ce li se dau în circuite.

De reținut!
Nu trebuie făcută confuzia între dioda semiconductoare și joncțiunea *pn*. Diodele pot fi realizate și pe baza altor structuri fizice (de exemplu, contactul metal – semiconductor).
Pe de altă parte, dioda conține și alte elemente, pe lângă joncțiunea *pn*, cum ar fi: elemente de contact, terminale, sistem de evacuare a căldurii, capsulă etc.

3.2. Parametrii diodelor

Informațiile referitoare la dispozitivele semiconductoare se regăsesc specificate în foile de catalog și cuprind următoarele *specificații*:

- descrierea dispozitivului;
- indicații constructive;
- valori-limită absolute;
- caracteristici termice;
- caracteristici electrice.

❑ ***Descrierea dispozitivului*** cuprinde informații asupra materialului semiconductor, a tehnologiei folosite și a aplicațiilor principale.

❑ ***Indicațiile constructive*** sunt indicații generale privitoare la capsulă și polaritate. Pentru diodele încapsulate în sticlă sau în plastic, se specifică marcarea catodului.

❑ ***Valorile-limită absolute*** reprezintă sisteme de valori absolute ce nu pot fi depășite în nicio situație. Când sunt depășite, funcționarea dispozitivului este periclitată.

❑ ***Caracteristicile termice*** (temperatura joncțiunii, temperatura de stocare, rezistența termică, disiparea totală) trebuie avute în vedere pentru o analiză completă a unui dispozitiv semiconductor. De obicei, aceste caracteristici sunt date în capitolul *Valori-limită absolute*, întrucât limitează utilizarea dispozitivului în diferite aplicații.

- ***Temperatura capsulei*** este temperatura măsurată într-un punct specificat pe capsula dispozitivului semiconductor.

Scanned with OKEN Scanner

- **Temperatura de stocare** este temperatura la care dispozitivul poate fi stocat timp îndelungat, fără solicitări electrice sau mecanice.
- **Temperatura joncțiunii** este valoarea medie a intervalului de temperatură pe care joncțiunea o poate căpăta în timpul funcționării.
- **Rezistența termică,** R_{th}, caracterizează capacitatea dispozitivului de a elimina puterea disipată spre mediul ambiant.

❑ **Caracteristicile electrice** sunt reprezentate de ***caracteristici statice*** (în curent continuu) și de ***caracteristici dinamice*** (în curent alternativ).

▪ *Caracteristicile statice* dau indicații asupra proprietăților de curent continuu ale dispozitivului.

Principalii parametri electrici de curent continuu ai diodei semiconductoare sunt reprezentați în figura 3.2.

În polarizare directă (adică atunci când potențialul anodului este mai mare decât potențialul catodului), dioda este caracterizată de faptul că permite trecerea unui curent de valoare mare, numit și *curent direct*.

Tensiunea de deschidere, U_{D0}, reprezintă *tensiunea minimă de polarizare la care dispozitivul începe să conducă curentul electric*. Valoarea tensiunii U_{D0} depinde de tipul diodei. Astfel, U_{D0} este în jur de 0,2 V pentru diodele realizate din germaniu și în jur de 0,5 V pentru diodele realizate din siliciu.

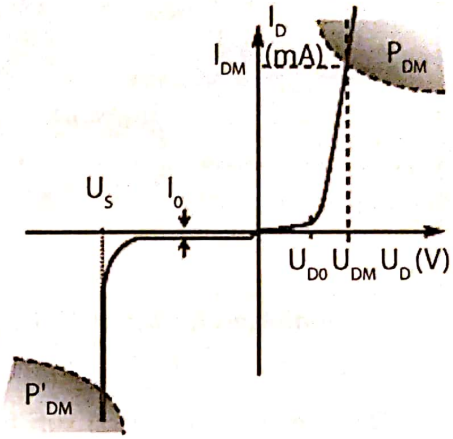


Fig. 3.2. *Caracteristica statică a diodei*

Pentru tensiuni mai mari decât U_{D0}, căderea de tensiune pe diodă este determinată de valoarea intensității curentului ce trece prin dispozitiv.

În cataloage se specifică **valoarea maximă a căderii de tensiune pe diodă,** U_{DM}, pentru un curent dat, de obicei, **curentul maxim admisibil,** I_{DM}.

În polarizare inversă (cu minusul sursei pe anod), dioda nu permite trecerea curentului, adică este caracterizată de faptul că la variații mari ale tensiunii inverse, U_R (U_R este o notație consacrată pentru tensiunea inversă, *R* de la *Reverse* – invers, în limba engleză), uneori până la sute sau mii de volți, **curentul prin dispozitiv este neglijabil. Acesta este curentul invers sau curentul rezidual,** I_R.

Când se ajunge la o valoare critică a tensiunii de polarizare inversă, curentul prin diodă crește brusc, datorită străpungerii joncțiunii.

Valoarea tensiunii de polarizare inversă la care curentul crește brusc se numește **tensiune de străpungere,** U_S. În mod obișnuit, firmele producătoare garantează funcționarea corectă a dispozitivului la o valoare $U_{RM} < U_S$, numită **tensiune inversă maxim admisă.** Pentru intervalul $U_{RM} \div 0$ V, în cataloage se specifică o valoare maxim garantată a curentului invers I_R.

Un alt parametru important este **puterea disipată maxim admisă,** P_{DM}.

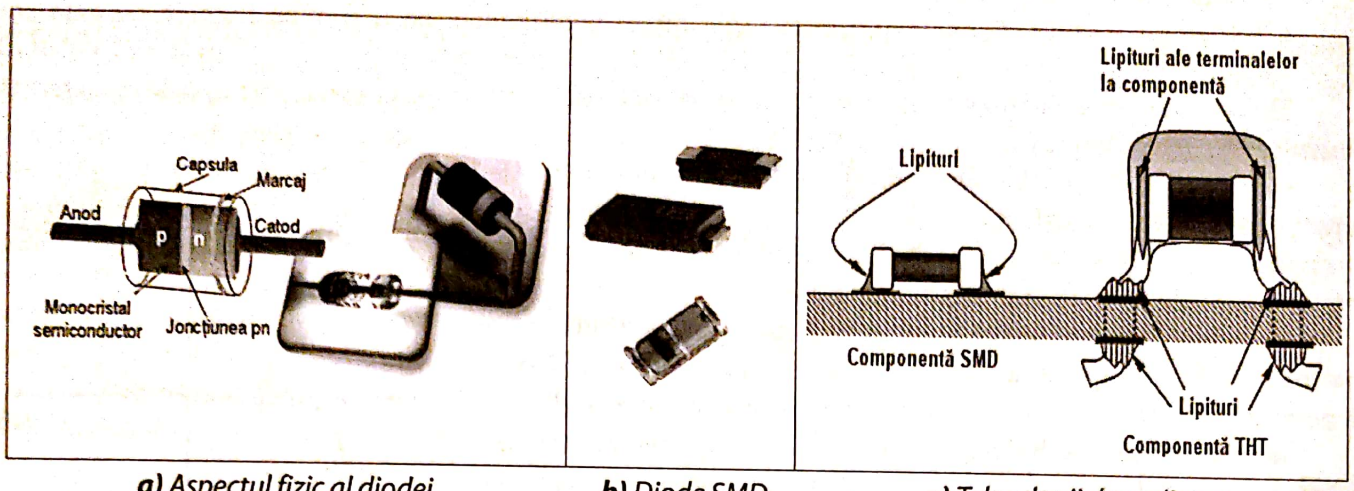
De reținut!
În funcție de utilizarea diodei, se precizează și se garantează și alți parametri electrici de curent continuu.
Caracteristicile de curent continuu sunt dependente de temperatură și sunt valabile numai pentru o temperatură ambiantă sau pentru o temperatură a capsulei date.

▪ *Caracteristicile dinamice* dau indicații asupra proprietăților de curent alternativ sau de impuls ale dispozitivului semiconductor. În funcție de tipul dispozitivului, se prezintă cele mai importante caracteristici de joasă sau de înaltă frecvență, sau de comutație, valabile numai în condiții speciale de lucru. În funcție de necesități, în cataloage se specifică și circuitele de măsurare corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

3.3. Aspectul fizic și marcarea diodelor

Diodele sunt dispozitive electronice cu două terminale și au, de obicei, formă cilindrică. Capsula poate fi realizată din plastic, sticlă sau metal.



a) Aspectul fizic al diodei *b) Diode SMD* *c) Tehnologii de realizare*

Fig. 3.3

Diodele se realizează și sub formă de SMD-uri (prescurtarea **SMD** provine din limba engleză: **S**urface **M**ounted **D**evice – Dispozitive montate pe suprafață). Diodele au fost componente ușor de adaptat pentru montarea pe suprafață și, în acest scop, au fost realizate diverse variante constructive (fig. 3.3.b).

Capsulele uzuale au formă dreptunghiulară sau cilindrică, cele dreptunghiulare putând avea două forme de terminale: „aripă de pescăruș" (*gull wing* – în limba engleză) sau îndoite sub capsulă.

Știați că ...?

*Orice dispozitiv electronic este realizat dintr-o plachetă (sau din mai multe plachete) numită **circuit** (sau cablaj) imprimat (**PCB** = **P**rinted **C**ircuit **B**oard – în limba engleză), pe care sunt montate componentele electronice. În tehnologia clasică, cablajul imprimat este prevăzut cu găuri metalizate în care se inserează terminalele componentelor. Pe o față a plachetei se montează componentele, iar pe cealaltă față se realizează lipiturile.*

*Această tehnologie se numește tehnologie de plantare în gaură (**THT** = **T**hrough **H**ole **T**echnology).*

*În ultimele decenii s-a dezvoltat o nouă tehnologie de realizare a circuitelor electronice, numită **tehnologie de montare pe suprafață** (**SMT** = **S**urface **M**ount **T**ehnology), în cadrul căreia componentele electronice se montează pe suprafața circuitului imprimat fără a se pătrunde prin găuri. Componentele destinate a fi plantate prin această tehnologie se numesc componente **SMD** (**S**urface **M**ounted **D**evices).*

În figura 3.3.c se prezintă o componentă simplă montată în ambele tehnologii.

*Din figură se poate observa că varianta **THT** are mai multe lipituri suplimentare, fapt care determină reducerea considerabilă a fiabilității asamblării. De asemenea, se poate observa gabaritul mult mai mare al componentelor destinate implantării în găuri.*

Componentele pentru montarea pe suprafață, de tip pasiv sau activ, nu diferă funcțional de componentele cu terminale pentru montarea în găuri. Ceea ce le diferențiază este varianta diferită de încapsulare (package).

*Componentele **SMD** asigură o densitate mai mare de echipare a circuitelor, în special prin dimensiunile lor reduse. Reducerea dimensiunilor este benefică nu numai pentru miniaturizarea dispozitivelor electronice, dar și pentru reducerea elementelor parazite, ceea ce conduce la performanțe mai bune ale dispozitivelor construite în această tehnologie.*

Pe de altă parte, montarea componentelor pe suprafață asigură, pe lângă contactul electric, și robustețea mecanică a asamblării, având, prin urmare, un rol decisiv în fiabilitatea produsului realizat.

*O caracteristică comună componentelor **SMD** este solicitarea termică sporită în timpul procesului de lipire. Acest fapt a determinat apariția de noi procese tehnologice pentru acest proces, după cum se va vedea în continuare.*

Scanned with OKEN Scanner

O altă caracteristică a acestor componente este faptul că, datorită dimensiunilor mici, marcarea lor este dificilă, în special pentru componentele discrete.

*Materialele folosite în tehnologia **SMD** includ: substratul depus pe circuitul imprimat (adezivi), aliaje de lipit, decapanți dezoxidanți, măști protectoare electric sau chimic, agenți de curățare.*

Alegerea substratului circuitului imprimat depinde de tipul componentelor, densitatea de plantare și de costuri și este realizat din adezivi de înaltă eficiență, folosiți pentru a reține componentele în pozițiile corecte pe substrat, în timpul plantării și al solderizării (lipirii).

Aliajele de lipit asigură lipirea componentei pe amprentele (padurile) circuitului imprimat și sunt de două feluri: solder-ul ca topitură în cuva mașinii de cositorit în val și solder-ul pastă, ca strat conductiv (15-30 mm) depus prin imprimare pe padurile circuitului imprimat.

Alegerea aliajelor de lipit, a fluxurilor și a agenților de spălare se face în contextul efectiv al procesului tehnologic.

Diodele destinate să funcţioneze la puteri medii şi mari se montează în capsule cilindrice cu baza plată sau cu şurub, pentru a fi fixate pe radiator termic.

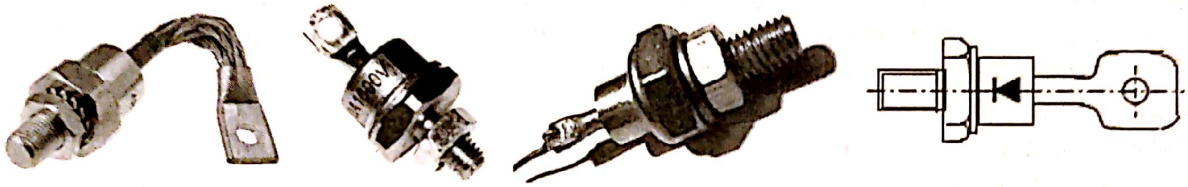


***Fig. 3.4** Diode de putere*

Observaţie *Capsula costă mai mult decât semiconductorul propriu-zis.*

Orice dispozitiv semiconductor discret are marcat pe capsulă un cod format din litere şi cifre sau din diferite culori, care furnizează indicaţii despre tipul dispozitivului şi, facultativ, despre producător, data fabricaţiei etc.

Pentru marcarea semiconductoarelor discrete, se folosesc mai multe sisteme de codificare, dintre care cele mai utilizate sunt:

- sistemul european PRO ELECTRON;
- sistemul american JEDEC;
- sistemul japonez JIS.

Codificarea în cadrul sistemului european poate cuprinde:

- **două litere – trei cifre – o literă** – pentru componente de uz curent;
- **trei litere – două cifre – o literă** – pentru componente de uz profesional.

Semnificaţia acestor caractere este următoarea:

- *prima literă indică materialul din care este realizat dispozitivul, astfel:*

A – germaniu;
B – siliciu;
C – arseniură de galiu (GaAs);
R – material cu structură complexă.

- *a doua literă indică funcţia de bază a dispozitivului:*

A – diodă de mică putere;
B – diodă varicap;
C – tranzistor de joasă frecvenţă, de mică putere;
D – tranzistor de joasă frecvenţă, de putere;
E – diodă tunel;
F – tranzistor de înaltă frecvenţă, de mică putere;
L – tranzistor de înaltă frecvenţă, de putere;
N – optocuplor;
R – tiristor de mică putere;

Scanned with OKEN Scanner

S – tranzistor de comutație, de mică putere;
T – tiristor de putere;
U – tranzistor de comutație, de putere;
Y – diodă redresoare de putere;
Z – diodă Zener.

- *cifrele indică numărul de serie;*
- *ultima literă indică varianta constructivă.*

Codificarea în cadrul sistemului american este de forma:
cifră – N – număr de serie – sufix.
Cifra este egală cu (numărul terminalelor – 1), cu excepția dispozitivelor optoelectronice, codificare cu 4N sau 5N.

3.4. Tipuri de diode

După cum s-a văzut în capitolul referitor la joncțiunea *pn*, pe caracteristica statică a acesteia se pot distinge trei regiuni în care structura se comportă diferit (polarizare directă, polarizare inversă, străpungere). Ca urmare, diodele pot îndeplini diferite funcții. Datorită diferențelor mari dintre puterile, tensiunile, curenții și frecvențele la care lucrează, prin procedee tehnologice adecvate se construiesc diferite tipuri de diode.

După utilizarea lor, diodele semiconductoare se clasifică astfel:

- diode redresoare;
- diode cu contact punctiform;
- diode de comutație;
- diode stabilizatoare;
- diode varicap;
- diode tunel;
- diode GUNN;
- diode IMPATT;
- diode PIN;
- diode Schottky.

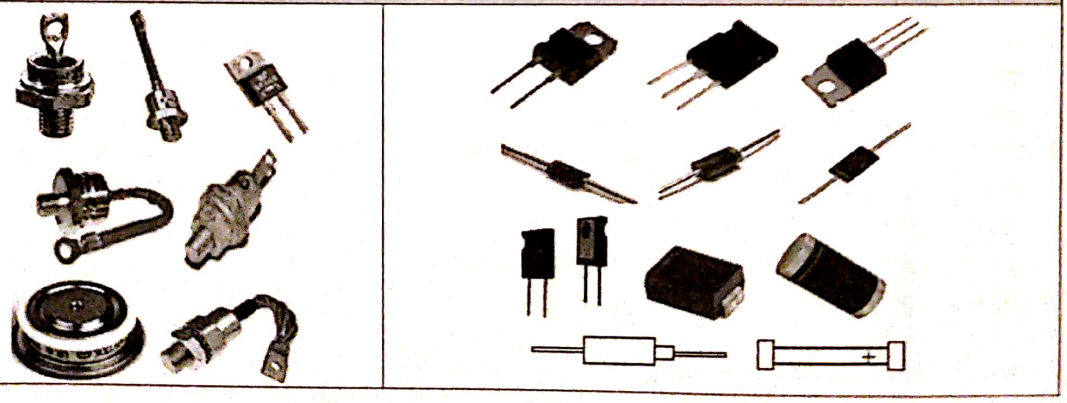
În continuare vor fi analizate diodele redresoare, de comutație și stabilizatoare.

3.4.1. Diode redresoare

■ ***Simbol. Aspect fizic***

Diodele redresoare utilizează proprietatea joncțiunii *pn*, care permite trecerea curentului electric numai atunci când sunt polarizate direct. Se folosesc pentru transformarea tensiunii alternative în tensiune continuă. În tabelul 3.1 sunt reprezentate simbolul diodei redresoare și diferite tipuri constructive.

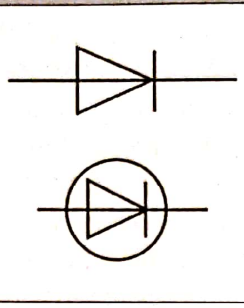
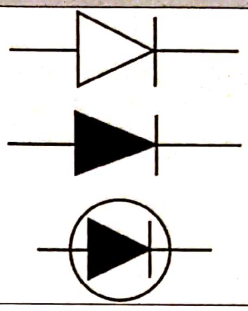
Tabelul 3.1

Simbol	Aspect fizic
	

Scanned with OKEN Scanner

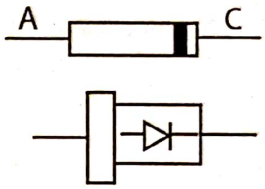
Reprezentarea diodelor redresoare în schemele electronice se face utilizând simbolurile convenţionale din tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Simboluri convenţionale pentru reprezentarea diodelor redresoare	
Standardizate	**Nestandardizate**
	

Simbolurile convenţionale pot fi orientate în orice direcţie, iar dimensiunea şi grosimea liniilor nu au importanţă.

Identificarea terminalelor diodelor redresoare (anodul şi catodul) se face în funcţie de sistemul de marcare utilizat.



■ ***Marcarea diodelor redresoare***

În funcţie de puterea diodei, se utilizează două *metode de marcare*:

a) desenarea unei benzi colorate pe corpul diodei, în apropierea unui terminal (pentru diode de mică putere), indicând catodul acesteia;

b) desenarea simbolului diodei pe corpul componentei, indicând astfel anodul şi catodul.

Fig. 3.5. *Marcarea diodelor redresoare*

Observaţie *Orice dispozitiv semiconductor (diodă, tranzistor etc.) este marcat pe corpul său într-un anume mod, dar, până în prezent, nu există norme internaţionale general aplicabile, care să reglementeze codificarea dispozitivelor semiconductoare. Fiecare firmă producătoare de componente electronice utilizează codul său specific, prezentat în cataloagele proprii, a căror consultare devine indispensabilă.*

■ ***Parametrii specifici***

Utilizarea diodelor redresoare în circuite electronice presupune cunoaşterea parametrilor specifici ai acestora (prezentaţi în tabelul 3.3), ale căror valori se găsesc în cataloagele de diode publicate de firmele producătoare de componente electronice.

Tabelul 3.3

Parametrii caracteristici	Semnificaţia parametrilor caracteristici
Tensiunea continuă directă (V_F) V_F = (0,3 ÷ 0,6) V la diodele cu Ge V_F = (0,7 ÷ 1,2) V la diodele cu Si	Reprezintă tensiunea la bornele diodei în conducţie directă, pentru un anumit curent precizat I_F.
Tensiunea directă de vârf (V_{FM})	Reprezintă amplitudinea maximă a unei tensiuni sinusoidale aplicate în sens direct, în absenţa polarizării cu tensiune continuă.
Tensiunea inversă de vârf repetitivă (V_{RRM})	Reprezintă tensiunea inversă maximă repetitivă a vârfurilor scurte de tensiune care apar periodic.

Scanned with OKEN Scanner

Parametrii caracteristici	Semnificația parametrilor caracteristici
Curentul direct continuu (I_F)	Este curentul continuu admis în regim permanent, care trece prin diodă, în absența oricărei componente alternative.
Curentul mediu redresat (I_0)	Este valoarea medie permisă a curentului direct calculat pe o perioadă completă, pentru o redresare monoalternantă.
Curentul direct de vârf repetitiv (I_{FRM})	Este valoarea instantanee cea mai mare a unui curent direct în regim permanent, incluzând toți curenții tranzitorii respectivi, în absența polarizării continue.
Curentul direct nerepetitiv de suprasarcină accidentală (I_{FSM})	Este valoarea de vârf a unui impuls de curent direct, de formă dată, ce trece accidental prin diodă într-un interval de timp scurt.
Timpul de comutare în sens invers (t_{rr})	Reprezintă timpul necesar curentului pentru a ajunge la valoarea normală în conducție inversă, în urma comutării instantanee de la polarizarea directă la polarizarea inversă.
Tensiunea de străpungere (V_{BR})	Reprezintă valoarea minimă a tensiunii la care are loc distrugerea componentei.

Mărimile care limitează funcționarea diodelor redresoare într-o anumită gamă de valori se numesc *parametri (valori)-limită*. Aceste mărimi sunt specificate în cataloagele de diode, iar depășirea lor poate conduce la distrugerea componentelor. Pentru diode, tranzistoare, dispozitive optoelectronice etc., parametrii-limită se referă la următoarele mărimi:

- tensiuni;
- curenți;
- putere;
- temperatura maximă a joncțiunii.

Tensiunea. Valoarea indicată în cataloage ca parametru limită este tensiunea de străpungere (V_{BR}) și reprezintă tensiunea inversă aplicată diodei pentru care curentul invers este mai mare decât o valoare specificată.

Curentul. În cataloage, ca valoare-limită este precizat curentul direct de vârf (I_{FM}), care reprezintă amplitudinea unui curent semisinusoidal în sens direct, în regim permanent.

Puterea disipată. Reprezintă valoarea maximă a puterii disipate, care nu trebuie depășită ($P_{dmax} = V_{FM} \cdot I_{FRM}$).

Temperatura maximă a joncțiunii. Pentru diodele cu germaniu, $T_{jmax} \approx 85\ ^0C$, iar pentru cel cu siliciu, $T_{jmax} \approx 175\ ^0C$, valori ce nu trebuie depășite.

Dintre aceste mărimi, cele mai importante sunt:

- tensiunea inversă maximă (de vârf);
- curentul de vârf.

Tensiunea inversă de vârf se alege astfel încât dioda să nu intre în zona de străpungere a caracteristicii inverse.

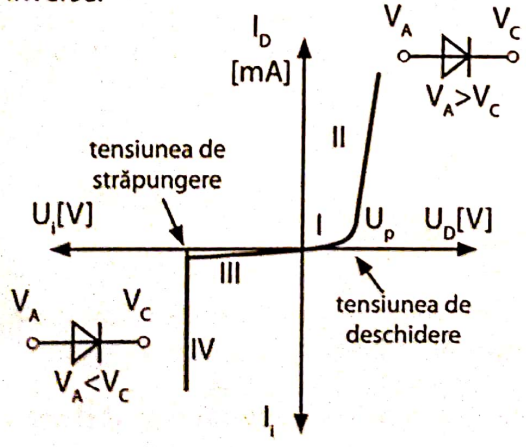


***Fig. 3.6.** Caracteristica statică a diodei redresoare*

Reprezentarea grafică a curentului în funcție de tensiunea la bornele diodei în regim staționar se numește *caracteristică statică* și este reprezentată în figura 3.6. La polarizarea directă a diodei, se disting două zone, în funcție de valoarea tensiunii U_D:

- **zona I**, în care dioda este blocată:

$U_D = V_A - V_C < U_p$, unde U_p este tensiunea de deschidere (de prag);

- **zona II**, în care dioda conduce:

$U_D = V_A - V_C > U_p$

Polarizând invers dioda, curentul are valori foarte mici și este independent de tensiunea U_i, atâta timp cât *tensiunea inversă* este mai mică decât tensiunea de străpungere (zona III), iar pentru tensiuni mai mari decât tensiunea de străpungere, are loc o creștere bruscă a curentului, ceea ce determină distrugerea diodei (zona IV).

Scanned with OKEN Scanner

De reţinut!
Diodele redresoare cu siliciu asigură, în general, curenţi inverşi mult mai mici şi tensiuni inverse mai mari decât cele cu germaniu.

■ ***Polarizarea diodelor redresoare***

Polarizarea unei diode redresoare constă în aplicarea unei tensiuni la bornele acesteia. În funcţie de relaţia de ordine dintre potenţialul anodului (V_A) şi potenţialul catodului (V_C), dioda funcţionează în două regimuri:

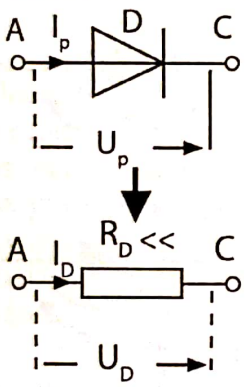
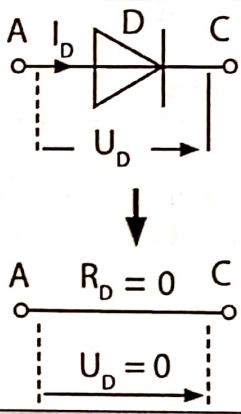
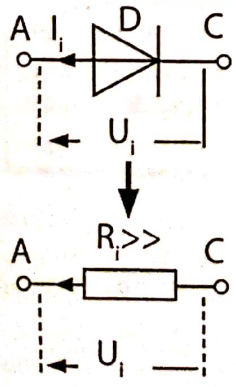
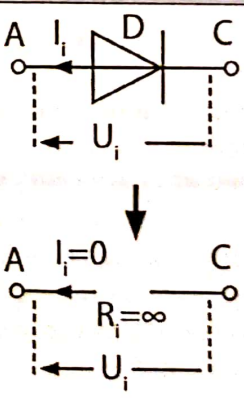
◗ ***regimul de polarizare directă sau regimul de conducţie*** – întâlnit atunci când potenţialul anodului este mai mare decât potenţialul catodului ($V_A > V_C$), cel puţin cu valoarea potenţialului de barieră V_B, $V_A \geq V_C + V_B$;

◗ ***regimul de polarizare inversă sau regimul de blocare*** – corespunde situaţiei în care potenţialul anodului este mai mic decât potenţialul catodului ($V_A < V_C$).

◗ Dacă $V_A = V_C$, dioda nu este polarizată.

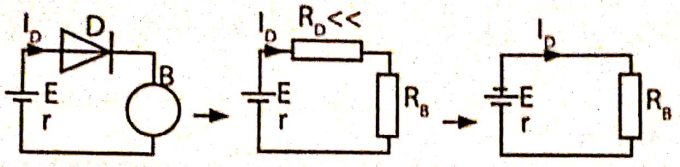
În orice regim de funcţionare, dioda redresoare intervine în circuit prin rezistenţa sa internă R_D sau R_r. Comportarea diodei în cele două regimuri de funcţionare este prezentată în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Comportarea diodelor redresoare			
Regimul de polarizare directă (regimul de conducţie)			
Diode reale		**Diode ideale**	
	– rezistenţa internă R_D este foarte mică (zecimi de ohmi ÷ zeci de ohmi); – tensiunea la bornele diodei U_D este mică (zecimi de volt); – curentul prin diodă I_D este diferit de zero şi depinde numai de tensiunea de alimentare a circuitului (nu şi de tensiunea la bornele diodei U_D).		– rezistenţa internă: $R_D = 0$; – tensiunea la bornele diodei: $U_D = 0$; – curentul prin diodă I_D nu depinde de tensiunea la bornelor diodei U_D.
Regimul de polarizare inversă (regimul de blocare)			
Diode reale		**Diode ideale**	
	– rezistenţa internă R_i este foarte mare (sute de kΩ ÷ MΩ); – tensiunea la bornele diodei U_i este aproximativ egală cu tensiunea de alimentare a circuitului; – curentul prin diodă I_i este foarte mic (nanoamperi).		– rezistenţa internă: $R_i = \infty$; – tensiunea la bornele diodei: $U_i = U_{alimentare}$; – curentul prin diodă: $I_i = 0$.

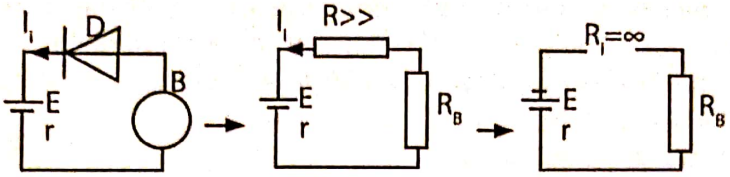
Un exemplu de polarizare a diodei redresoare este prezentat în figura 3.7. Tensiunea sursei de alimentare E şi tensiunea nominală a becului au aceeaşi valoare.

Scanned with OKEN Scanner



$$I_D = \frac{E}{R_D + R_B + r} \qquad I_D = \frac{E}{R_B + r}$$

***a)** polarizarea directă*



$$I_i = \frac{E}{R_D + R_i + r} \qquad I_i = 0$$

***b)** polarizarea inversă*

***Fig. 3.7.** Polarizarea diodei redresoare*

■ Montarea diodelor în circuit

○ Montarea diodelor în serie

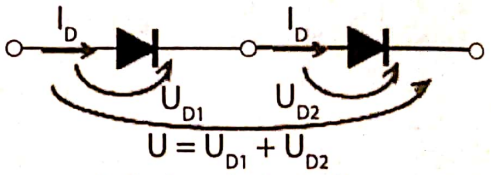
Diodele se montează în serie prin conectarea catodului unei diode la anodul următoarei diode, ca în figura 3.8.

Atunci când sunt legate în serie diodele sunt parcurse de același curent, ID, iar tensiunea totală la borne este egală cu suma dintre tensiunile pe cele două diode:

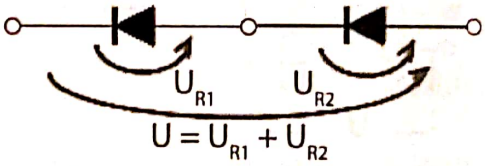
$$U = U_{D1} + U_{D2}$$

Acest lucru este valabil și pentru diodele polarizate invers (fig. 3.8.b):

$$U = U_{R1} + U_{R2}$$



a) *diode polarizate direct*



b) *diode polarizate invers*

***Fig. 3.8.** Montarea diodelor în serie*

De reținut!
Diodele se leagă în serie atunci când se dorește menținerea la bornele grupării a unei tensiuni de valoare mai mare decât oferă fiecare dintre diode.

În cazul în care diodele sunt montate în serie, în antifază, adică catodul uneia dintre diode se conectează la catodul celei de-a doua diode, ca în figura alăturată, atunci una dintre ele este întotdeauna polarizată invers și nu conduce curentul.

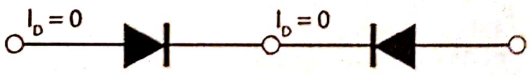


***Fig. 3.9.** Montarea diodelor în serie, în antifază*

○ Montarea diodelor în paralel

Diodele se montează în paralel prin conectarea într-un nod comun a anozilor, respectiv a catozilor mai multor diode, ca în figura 3.10.

Atunci când sunt legate în paralel, tensiunile la bornele celor două diode sunt egale între ele, dar diodele sunt parcurse de același curent, I_D, doar dacă ele sunt identice.

În cazul în care diodele sunt montate în paralel, în antifază (antiparalel), ca în figura 3.11, conduce dioda polarizată direct, ea preluând întreg curentul, în timp ce prin dioda polarizată invers nu trece curentul.

Scanned with OKEN Scanner

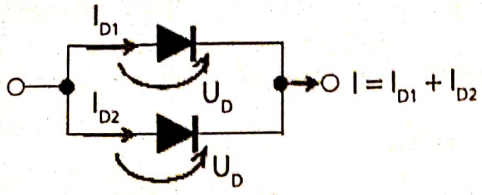


Fig. 3.10. Montarea diodelor în paralel

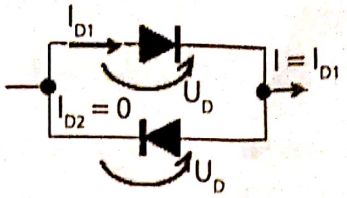


Fig. 3.11. Montarea diodelor în paralel în antifază

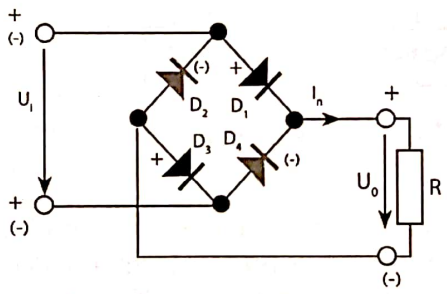
De reținut!
Diodele se leagă în paralel atunci când prin circuit trece un curent mai mare decât curentul maxim admis pentru fiecare diodă ($I = I_{D1} + I_{D2}$).

Observație *În cazul în care una dintre diode este din germaniu, iar cealaltă din siliciu, se va deschide numai dioda de germaniu, care va menține la borne o tensiune UD ≅ 0,3 V. În această situație, dioda de siliciu nu se deschide. O soluție pentru această problemă este montarea în serie cu dioda de germaniu a unei rezistențe.*

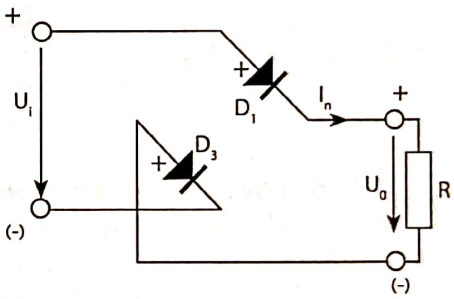
Montarea diodelor în punte

Puntea este un circuit electric tipic, în formă de patrulater. Laturile patrulaterului se numesc *brațe*. Pe fiecare braț se găsesc elemente de circuit. În cazul punții de diode, pe fiecare braț sunt montate diode, ca în figura 3.12.a.

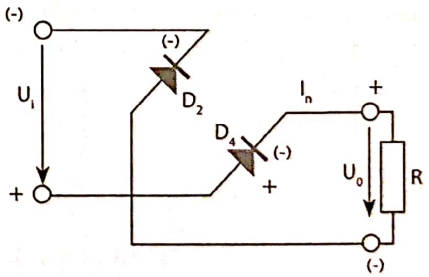
Fiind în formă de patrulater, circuitul are două diagonale. Una dintre diagonale constituie intrarea punții, iar cealaltă, ieșirea ei.



a) puntea cu diode



b) diode care conduc în alternanță pozitivă



c) diode care conduc în alternanță negativă

Fig. 3.12. Montarea diodelor în punte

Când la intrare se aplică un semnal pozitiv, conduc diodele D_1 și D_3, iar diodele D_2 și D_4 sunt blocate. La ieșire, se regăsește semnalul de la intrare, borna pozitivă fiind cea indicată pe desen. În figura 3.12.b este prezentat circuitul echivalent în această situație (diodele D_2 și D_4 fiind blocate nu au mai fost figurate).

Când la intrare se aplică un semnal negativ, conduc diodele D_2 și D_4, iar diodele D_1 și D_3 sunt blocate. La ieșire, se regăsește semnalul de la intrare cu semn schimbat. În figura 3.12.c. este prezentat circuitul echivalent în această situație (diodele D_1 și D_3 fiind blocate nu au mai fost figurate).

Deci, indiferent de semnul tensiunii de la intrare, la ieșire se regăsește semnalul pozitiv, adică, rezistența de sarcină este parcursă de curent în același sens.

Această proprietate a punții de diode are o largă utilizare în circuitele de redresare.

Utilizări

Diodele redresoare se utilizează, cu precădere, la transformarea curentului alternativ în curent continuu, la frecvențe joase, de regulă la frecvențe industriale (50-60 Hz).
De asemenea, ele se utilizează ca diode de uz general, în circuitele electronice unde este necesară conducția unilaterală.

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de lucru

1. Se consideră schemele din figurile de mai jos.

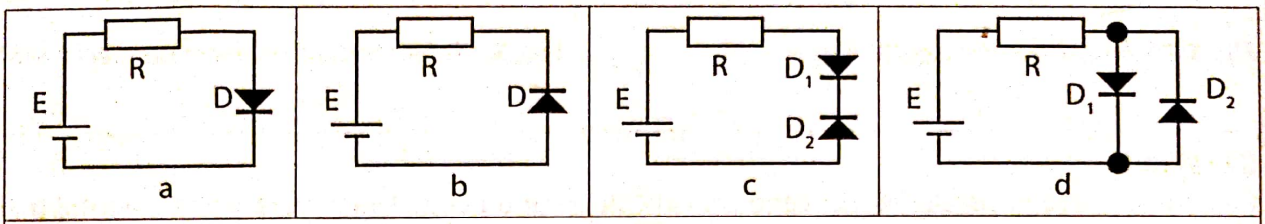


Fig. 3.13

a) Pe fiecare schemă, figurează curenții și tensiunile care intervin.

b) Pentru fiecare schemă, calculează curenții știind că E = 10 V, R = 1000 Ω, iar diodele sunt realizate din siliciu, sunt identice și au $I_0 = 0$.

2. Se consideră schemele din figurile de mai jos. Ele se folosesc pentru protecția unor aparate împotriva unor eventuale erori de conectare la sursa de alimentare, datorate nerespectării polarității.

a) Pentru fiecare caz, explică funcționarea protecției.

b) Specifică criteriile de alegere ale diodei D.

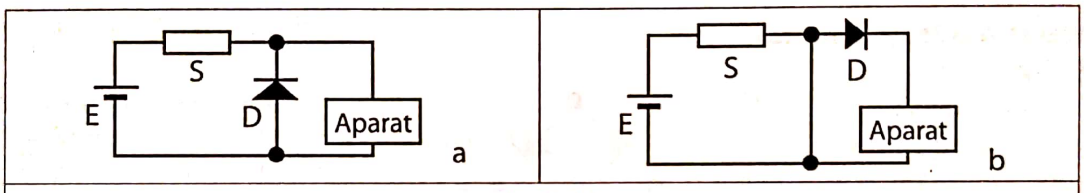


Fig. 3.14

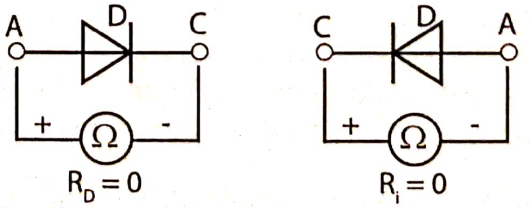
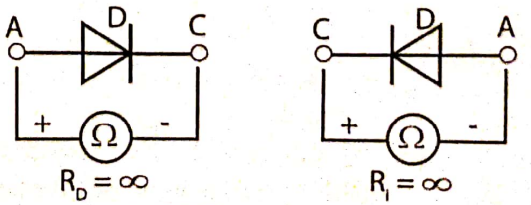
■ ***Defectele diodelor redresoare***

În stare de funcționare normală, dioda redresoare are rezistența internă (R_D) foarte mică în regimul de polarizare directă, iar în regimul de polarizare inversă, rezistența internă (R_i) este foarte mare.

Dacă se depășesc valorile nominale ale parametrilor specifici, este posibilă apariția defectelor prezentate în tabelul 3.5. Depistarea defectelor se face cu ohmmetrul, măsurând rezistența internă a diodei în regim de polarizare directă (R_D), respectiv în regim de polarizare inversă (R_i). În funcție de valorile celor două rezistențe măsurate, se pot formula următoarele concluzii:

- R_D mică și R_i mare – diodă în stare de funcționare;
- R_D mică și R_i mică – diodă scurtcircuitată;
- R_D mare și R_i mare – diodă întreruptă.

Tabelul 3.5

Diode redresoare	
Defecte posibile	**Depistarea defectelor cu ohmmetrul**
Diodă scurtcircuitată	
Diodă întreruptă	

Scanned with OKEN Scanner

Defecte ale diodelor pot apărea şi din cauza solicitărilor mecanice, a degradării contactelor, prin oboseală termică, prin întreruperea structurii etc.

Diodele se pot verifica cu ajutorul unui multimetru, ca în figurile 3.15, sau cu ajutorul circuitului din figura 3.17.

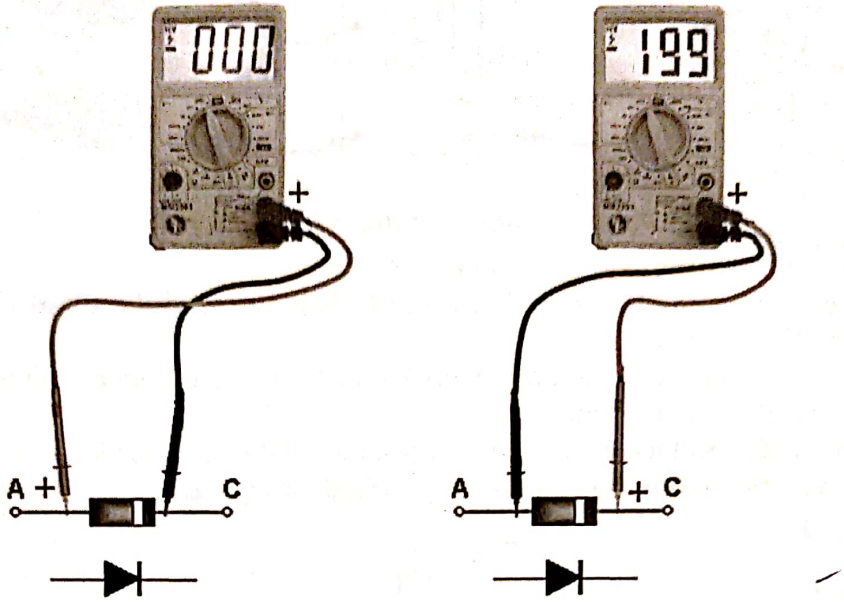


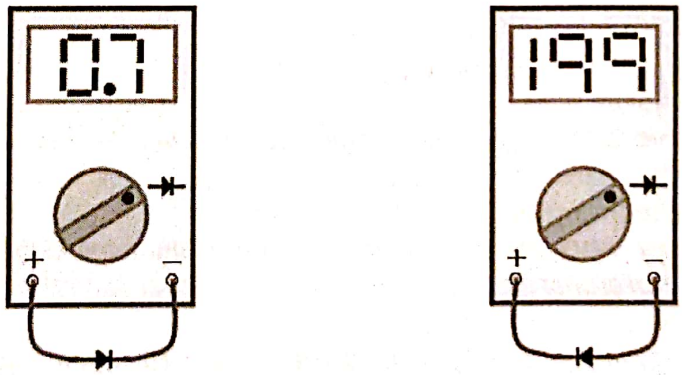
Fig. 3.15. *Verificarea diodelor*

a) Se selectează multimetrul pentru măsurarea rezistenţelor. Se conectează borna marcată cu plus la anodul diodei, iar cea cu minus la catod. Multimetrul trebuie să indice o rezistenţă de valoare mică.

b) Se conectează borna marcată cu minus la anodul diodei, iar cea cu plus la catod. Multimetrul trebuie să indice o rezistenţă de valoare foarte mare.

- În cazul în care multimetrul indică o valoare mică a rezistenţei în ambele cazuri, dioda este în scurtcircuit.
- În cazul în care multimetrul indică o valoare foarte mare a rezistenţei în ambele cazuri, dioda este întreruptă.

Observaţie *Unele multimetre digitale au fost prevăzute cu borne speciale pentru testarea diodelor. Acestea indică valoarea căderii de tensiune pe diodă. Dacă dioda este montată ca în figura 3.16 a, aparatul indică o valoare în jur de 1 V, iar dacă dioda este montată invers, aparatul indică depăşire pe scală.*



a) *Polarizare directă* ***b)*** *Polarizare indirectă*

Fig. 3.16. *Polarizarea diodei*

Scanned with OKEN Scanner

Un montaj simplu pentru testarea diodelor este prezentat în figura 3.17.

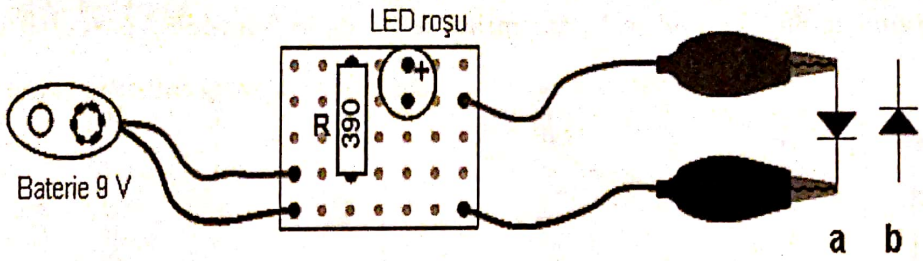


Fig. 3.17. *Testarea diodelor*

Schema de principiu este prezentată în figura 3.18.

a) Dacă dioda este montată ca în figura 3.18.a, când plusul sursei de alimentare se aplică pe anod, aceasta conduce curentul şi LED-ul se aprinde.

b) Dacă dioda este montată ca în figura 3.18.b, când plusul sursei de alimentare se aplică pe catod, aceasta nu conduce curentul şi LED-ul nu se aprinde.

În cazul în care dioda conduce în ambele situaţii, atunci este defectă, fiind în scurtcircuit, iar dacă dioda nu conduce în niciuna dintre situaţii, atunci este defectă, fiind întreruptă.

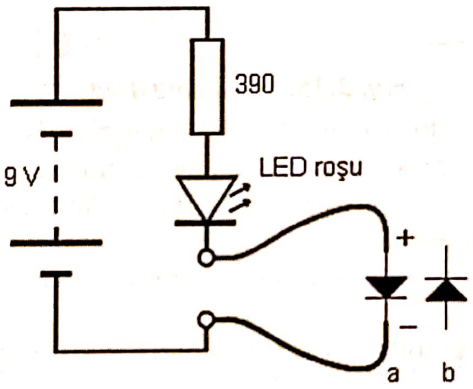
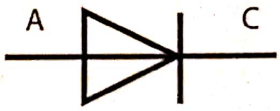


Fig. 3.18

Rezumat *– Diodele redresoare*



- *sunt componente electronice cu 2 electrozi: anod şi catod;*
- *se reprezintă prin simbolul alăturat;*
- *funcţionează în două regimuri de polarizare:*
  - *polarizarea directă ($V_A > V_C$) – în acest regim, rezistenţa internă (R_D) este foarte mică şi dioda permite trecerea curentului electric;*
  - *polarizarea inversă ($V_A < V_C$) – în acest regim, rezistenţa internă (R_i) este foarte mare şi dioda întrerupe trecerea curentului electric;*
- *pot fi conectate în serie şi/sau în paralel; în punte;*
- *identificarea terminalelor se poate face în mai multe moduri: cu ajutorul cataloagelor de componente electronice, al aparatelor de măsură sau al unor montaje electronice;*
- *defecte posibile şi depistarea acestora în circuit:*
  - *diode scurtcircuitate – rezistenţa internă este foarte mică, atât în polarizarea directă, cât şi inversă ($R_D = R_i \rightarrow 0$);*
  - *diode străpunse – rezistenţa internă este foarte mare, atât în polarizare directă, cât şi inversă ($R_D = R_i \rightarrow \infty$).*

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de lucru

I. Alege varianta corectă.

1. Dacă $R_1 = R_2 = R_3 = 20\ k\Omega$, intensitatea curentului *I* prin dioda ideală D din figura 3.19 are valoarea:

a) 0 A;
b) 1,5 mA;
c) 1 mA;
d) 0,5 mA.

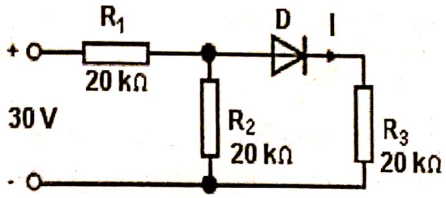


Fig. 3.19

2. Tensiunea U_D la bornele diodei ideale *D* din figura 3.20 are valoarea:

a) 0 V;
b) 30 V;
c) 1 V;
d) 0,7 V.

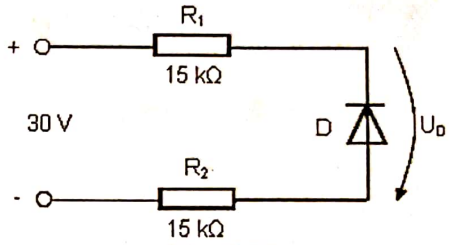


Fig. 3.20

3. În circuitul din figura 3.21, dioda *D* se consideră ideală. Perioada şi intensitatea maximă a curentului au valorile:

a) T = 20 ms; $I_{max.} = 1$ mA;
b) T = 20 ms; $I_{max.} = 1{,}41$ mA;
c) T = 10 ms; $I_{max.} = 0$ A;
d) T = 0,01 ms; $I_{max.} = 1{,}41$ A.

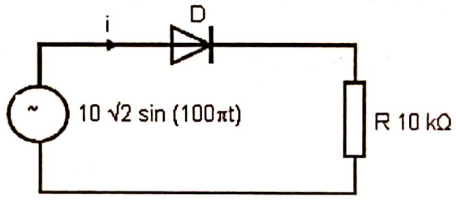


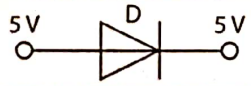
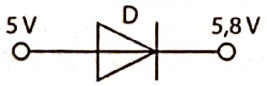
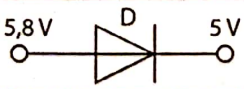
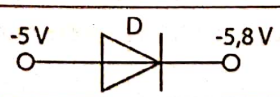
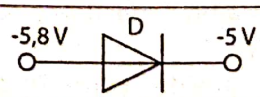
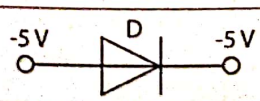
Fig. 3.21

4. Dioda redresoare funcţionează la frecvenţe:

a) mici;
b) înalte;
c) foarte înalte;
d) ultraînalte.

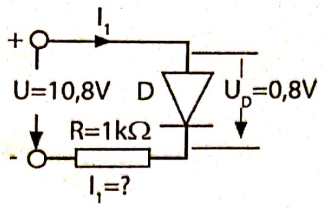
II. Rezolvă următorele sarcini de lucru.

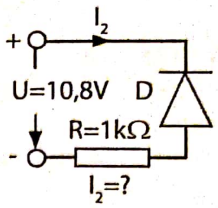
1. Analizând modul de polarizare al diodelor din tabel, bifează cu x coloana corespunzătoare regimului în care funcţionează (diodele sunt de mică putere).

Diode redresoare		
Polarizare	**Regimul de polarizare**	
	directă	**inversă**
		
		
		
		
		
		

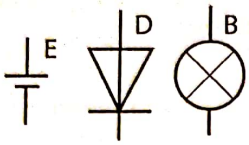
Scanned with OKEN Scanner

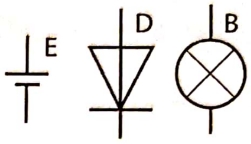
2. Calculează intensitatea curentului electric *I* prin dioda *D* pentru fiecare circuit reprezentat.





3. Reprezintă, pe fişa de lucru, schemele electrice pentru verificarea unei diode redresoare (D), folosind o sursă de alimentare (E) şi un bec având tensiunea nominală egală cu cea a sursei.





4. Indică modul de manifestare în circuit al unei diode defecte, precizând, totodată, defectul.

Defect	Manifestare în circuit

5. Argumentează deosebirile dintre diodă şi joncţiunea *pn*.

6. Pe desenul din figura 3.22, identifică anodul şi catodul diodei, notează polarizarea astfel încât dioda să conducă curentul electric şi desenează curentul şi tensiunea pe diodă.

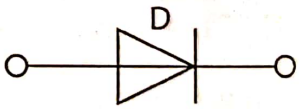


Fig. 3.22

3.4.2. Dioda detectoare

Dioda detectoare îndeplineşte aceleaşi funcţii ca şi dioda redresoare, doar că funcţionează la frecvenţe mult mai mari (de la sute de kHz până la GHz) şi la puteri mici.

Acest tip de diode pot fi folosite şi în regim de impulsuri, ca diode de comutaţie.

Pentru a funcţiona corect la frecvenţe înalte, trebuie ca joncţiunea *pn* să aibă capacitatea totală foarte mică (~ 0,1 ÷ 0,2 pF). De aceea, acest tip de diode au o construcţie specială. O variantă de realizare a acestui tip de diodă este dioda cu contact punctiform.

■ ***Structură. Simbol***

Diodele cu contact punctiform sunt diode de detecţie şi de comutaţie, utilizate în domeniul frecvenţelor înalte (~ $10^5 \div 10^9$ Hz).

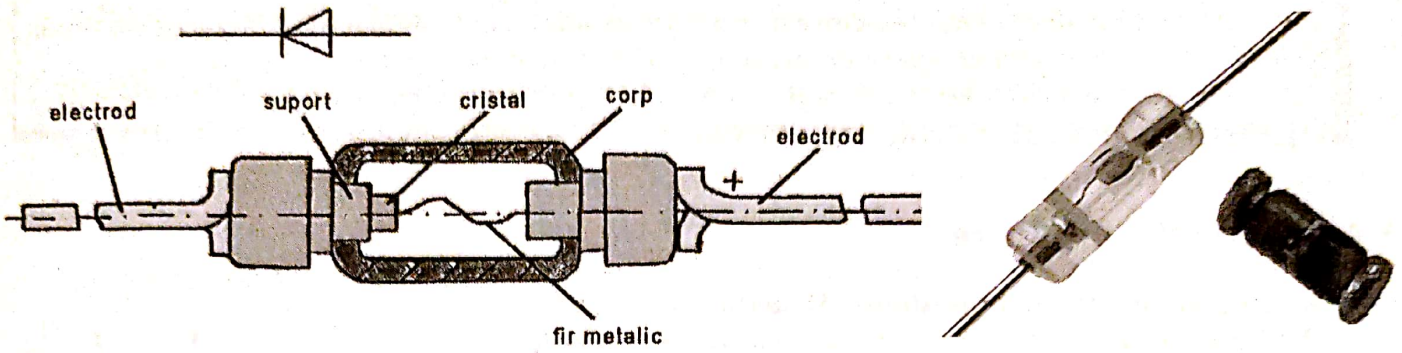
Pentru a îndeplini funcţia de detecţie, trebuie ca joncţiunea *pn* să aibă capacitatea totală foarte mică (~ 0,1÷ 0,2 pF).

În acest sens, structura fizică a diodei (fig. 3.23) este formată dintr-un cristal de Ge (sau Si) de tip *n*, pe care se realizează un contact punctiform, cu un conductor arcuit de wolfram. De cristalul semiconductor şi de conductorul de wolfram se fixează electrozii diodei ce constituie catodul, respectiv anodul. Acest ansamblu se introduce într-o capsulă de sticlă sau material plastic, apoi urmează operaţia de formare a diodei, astfel: prin structura

Scanned with OKEN Scanner

formată în acest mod se aplică o succesiune de impulsuri de curent de valoare relativ mare, care provoacă topirea materialului în regiunea contactului, rezultând o microjoncţiune *pn* cu suprafaţa foarte mică (~ 10^{-4} mm²).

Diodele cu contact punctiform se reprezintă în schemele electronice prin acelaşi simbol ca diodele redresoare (vezi tabelul 3.2).



a) *Simbolul şi structura diodei cu contact punctiform* ***b)*** *Aspect fizic*

Fig. 3.23

■ ***Marcarea diodelor cu contact punctiform***

Marcarea diodelor cu contact punctiform se face cu ajutorul inelelor (benzilor) colorate trasate pe corpul componentei. Citirea acestora de la catod la anod stabileşte tipul diodei (tabelul 3.6). Numărul inelelor este cuprins între 1 şi 3.

Tabelul 3.6

Tipul diodei	Marcarea diodelor cu contact punctiform C A 1 2 3 inele colorate		
	Inelul 1	Inelul 2	Inelul 3
AA112	Alb	Roşu	
AA114	Portocaliu		
AA117	Negru	Galben	
AA118	Negru	Portocaliu	
EFD103	Roşu	Albastru	Galben
EFD109	Portocaliu	Galben	Negru
IN54A	Negru	Verde	Galben
IN542	Verde	Galben	Roşu

■ ***Parametrii specifici***

Parametrii cei mai importanţi ai diodelor cu contact punctiform sunt precizaţi în tabelul 3.7, iar valorile acestora se găsesc în cataloagele de componente. Trebuie menţionat faptul că, datorită contactului punctiform, căderea de tensiune continuă directă (U_F) este mai mare decât la diodele redresoare, putând ajunge până la 2 V.

Tabelul 3.7

Parametrii specifici
Tensiunea continuă inversă (V_{RM})
Tensiunea continuă directă (V_F)
Curentul mediu redresant (I_O)
Curentul continuu direct (I_F)
Timpul de recuperare invers (t_{rr})

Semnificaţia acestor parametri se găseşte în tabelul 3.9.

Problemele privind polarizarea şi defectele acestor diode sunt identice cu cele de la diodele redresoare.

Scanned with OKEN Scanner

De reținut!
Pentru transformarea energiei electrice de curent alternativ în energie electrică de curent continuu, la frecvențe înalte se utilizează un tip de diodă cu o realizare tehnologică specială: *dioda cu contact punctiform*.
Întrucât transformarea energiei electrice de curent alternativ în energie electrică de curent continuu la frecvențe înalte se numește *detecție*, acest tip de diode se numesc și *diode detectoare*.
Acest tip de diode pot fi folosite și în regim de impulsuri, ca diode de comutație.

3.4.3. Dioda stabilizatoare

■ ***Funcționare. Caracteristica statică. Simbol***

Diodele stabilizatoare sunt construite din joncțiuni *pn*, puternic dopate, care funcționează cu polarizare inversă, în zona de străpungere (reversibilă). Peste o anumită valoare, tensiunea la bornele diodei rămâne aproximativ constantă, în timp ce curentul prin diodă poate să ia valori într-un domeniu relativ mare (fig. 3.24).

Curentul invers are valori foarte mici pentru tensiuni inverse mai mici decât tensiunea de străpungere. Mărind tensiunea inversă până la valoarea tensiunii de străpungere, curentul invers va crește, iar tensiunea la bornele diodei va rămâne aproximativ constantă, fără să se producă o străpungere ireversibilă.

Străpungerea ireversibilă a diodelor stabilizatoare poate avea loc dacă tensiunea inversă crește cu mult peste valoarea tensiunii de străpungere. În acest caz, are loc o creștere mare a curentului, ceea ce determină o supraîncălzire a joncțiunii *pn* și, în final, distrugerea componentei.

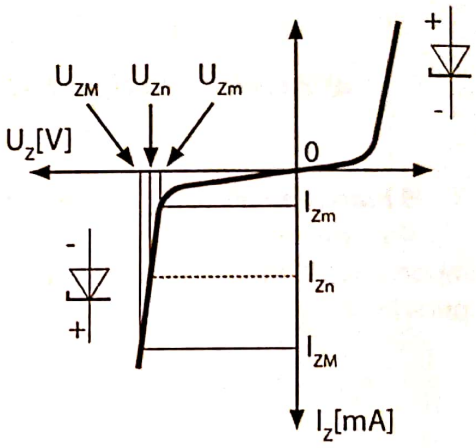
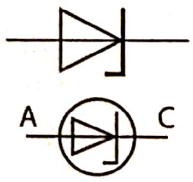
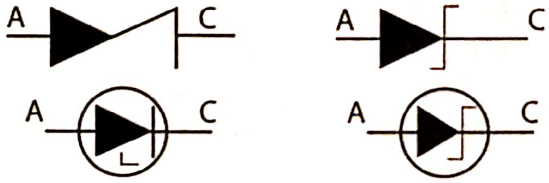


***Fig. 3.24.** Caracteristica statică a diodei stabilizatoare*

Diodele stabilizatoare se reprezintă în schemele electronice prin *simbolurile* prezentate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

Diode stabilizatoare – semne convenționale (simboluri)	
Standardizate	**Nestandardizate**
	

■ ***Marcarea diodelor stabilizatoare***

Marcarea diodelor constă în prezența unui semn distinctiv pe capsula acestora, în vederea identificării anodului, respectiv a catodului. Diodele stabilizatoare de 0,4 W și de 1 W tipul PL 3V3 Z ÷ PL 200 Z au desenată o bandă colorată în apropierea catodului (fig. 3.25.a).

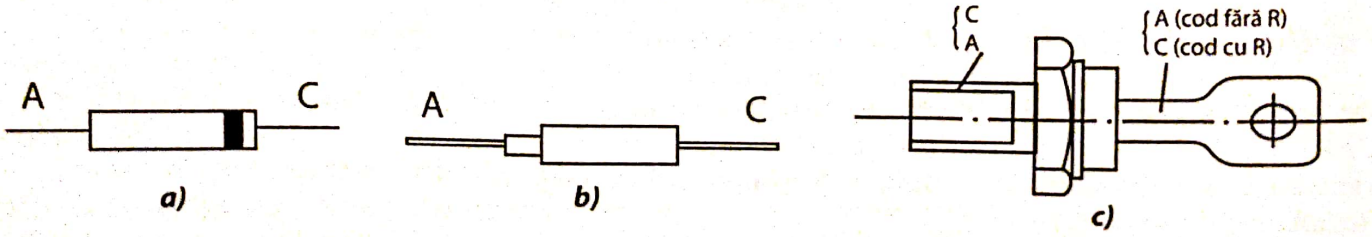


***Fig. 3.25.** Marcarea diodelor stabilizatoare*

Scanned with OKEN Scanner

Cele cu putere de 1 W de tipul 1N3016B ... IN3051B au capsula realizată din două părți cilindrice, cea cu diametrul mai mic reprezentând anodul (fig. 3.25.b), iar diodele cu putere mai mare de 4 W au capsula de forma prezentată în figura 3.25.c, indicându-se astfel semnificația terminalelor.

■ ***Parametrii specifici***

Parametrii principali ai diodelor stabilizatoare sunt enumerați în tabelul 3.9.

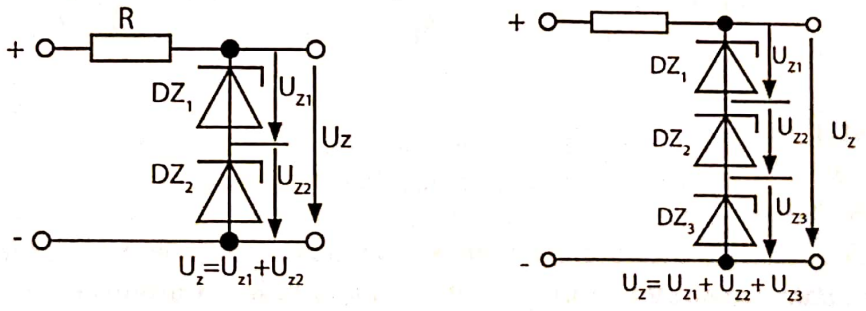
Tabelul 3.9

Parametrii caracteristici	Semnificația parametrilor caracteristici
Tensiunea nominală de stabilizare (V_{Zn})	Este tensiunea aplicată în sens invers la bornele diodei, care rămâne aproximativ constantă atunci când curentul ia valori într-un domeniu definit.
Curentul de stabilizare minim (I_{Zm})	Este limita inferioară a curentului de stabilizare, sub care dioda nu-şi mai îndeplineşte funcția de stabilizare.
Curentul de stabilizare maxim (I_{ZM})	Este limita superioară a curentului de stabilizare, peste care funcționarea diodei nu mai este garantată.
Puterea maximă disipată (P_{dmax}) $P_{dmax} = V_{Zm} \cdot I_{ZM}$	Este valoarea-limită superioară a puterii care poate fi disipată de diodă în regim permanent, la temperatura de 25 °C.
Rezistența diferențială în regiunea de stabilizare (r_z)	Este valoarea $\Delta U/\Delta I$ într-un punct specificat pe caracteristica de stabilizare.
Coeficientul de stabilizare cu temperatura al tensiunii (α_{uZ})	Este procentul cu care variază tensiunea de stabilizare la o variație de 1 °C a temperaturii diodei.

Observație *În catalogul de diode se mai precizează valoarea minimă, respectiv valoarea maximă a tensiunii de stabilizare.*

■ ***Tipuri de conexiuni***

Pentru obținerea unor tensiuni stabilizate mai mari, se conectează în serie mai multe diode stabilizatoare (fig. 3.26). Fiecare dintre ele trebuie să funcționeze în zona de străpungere controlată.



a) ***b)***

Fig. 3.26. *Diode stabilizatoare conectate în serie*

Observație *Diodele stabilizatoare nu se conectează în paralel.*

■ ***Polarizarea diodelor stabilizatoare***

Diodele stabilizatoare funcționează cu *polarizare inversă în zona de străpungere controlată*, unde tensiunea la borne rămâne aproximativ constantă.

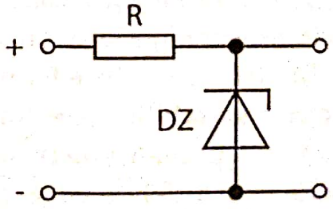


Fig. 3.27. *Polarizarea diodei Zener*

Scanned with OKEN Scanner

Prin urmare, pentru ca o diodă stabilizatoare să îndeplinească funcția de stabilizare, trebuie îndeplinite simultan următoarele condiții:

- să fie polarizată invers;
- valoarea tensiunii inverse să fie mai mare decât V_{Zm}, astfel încât dioda să fie parcursă de curentul minim de stabilizare I_{ZM};
- valoarea tensiunii inverse să fie mai mică decât V_{ZM}, pentru a nu apărea fenomenul de străpungere necontrolată.

Montajul de bază folosit pentru polarizarea diodelor este cel din figura 3.27. Rolul rezistenței R este de a limita curentul la valori mai mici decât I_{ZM}.

Polarizate direct, diodele stabilizatoare se comportă ca diodele redresoare.

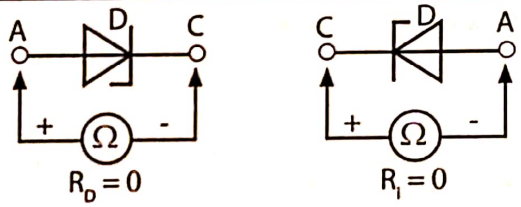
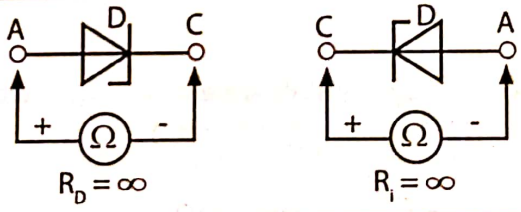
■ ***Defectele diodelor stabilizatoare***

La diodele stabilizatoare pot apărea următoarele defecte:

- scurtcircuitarea diodei;
- străpungerea diodei.

Depistarea acestor defecte se face cu ohmmetrul, prin măsurarea rezistenței interne în regim de polarizare directă (R_D), respectiv în regim de polarizare inversă (R_i). În funcție de valorile obținute, se determină defectul, conform tabelului 3.10.

Tabelul 3.10

Diode stabilizatoare	
Defecte posibile	**Depistarea defectelor cu ohmmetrul**
Diodă scurtcircuitată	
Diodă străpunsă	

3.4.4. Diode varicap

■ ***Funcționare. Simbol***

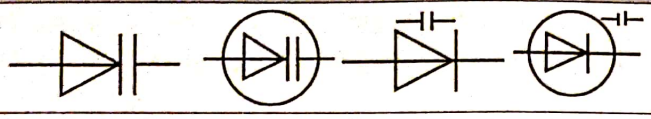
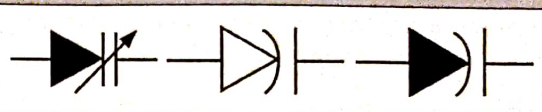
Varicap vine de la Variable Capacitor (condensator variabil). Atunci când sunt polarizate invers, capacitatea electrică a diodelor variază odată cu tensiunea. Asta înseamnă că, în polarizare inversă, diodele pot fi folosite ca și condensatoare variabile controlate nu de vreun buton mecanic, ci de o tensiune electrică (ce poate veni, de exemplu, de la un microprocesor).

Joncțiunea *pn* prezintă la polarizare inversă o capacitate care depinde de tensiunea aplicată. La diodele varicap, această variație a capacității poate fi reglată în limite mult mai mari, datorită modului de impurificare și, implicit, a tehnologiei de fabricare a componentei.

Diodele la care este folosită această proprietate se numesc **diode varactor, diode varicap** sau **diode cu capacitate variabilă**. În electronică s-a generalizat denumirea de diodă varicap. Capacitatea diodei varicap este definită de capacitatea de barieră, dioda comportându-se în circuite ca un condensator cu capacitate variabilă. Simbolul unei astfel de diode este format din simbolul unei diode în general, la care se adaugă simbolul unui condensator variabil (tabelul 3.11).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.11

Simboluri convenționale pentru diode varicap	
Standardizate	Nestandardizate
	

■ ***Marcarea diodelor varicap***

În vederea identificării celor doi electrozi, pe corpul diodei este desenată o bandă colorată, în apropierea catodului (fig. 3.28).

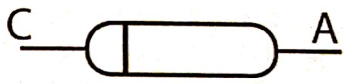


Fig. 3.28. *Marcarea diodelor varicap*

■ ***Parametrii specifici***

Parametrii specifici ai diodelor varicap sunt precizați în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12

Diode varicap	
Parametrii specifici	**Semnificația parametrilor**
Tensiunea inversă de vârf (V_R)	Tensiunea inversă maximă repetitivă.
Capacitatea maximă (C_{max})	Valoarea capacității, la tensiunea de semnal minimă (de obicei, 3 V).
Capacitatea minimă (C_{min})	Capacitatea diodei, la tensiunea maximă de semnal (de obicei, 25 V).
Curentul continuu invers (I_R)	Valoarea curentului prin diodă la o valoare a tensiunii inverse specificată în fila de catalog.

■ ***Tipuri de conexiuni***

Diodele varicap se utilizează în special în circuite acordate. Pentru reducerea dezacordului circuitului sub acțiunea tensiunii de semnal, se utilizează conectarea în serie a două diode varicap, ca în figura 3.29. La variația tensiunii în circuit, capacitatea unei diode crește, iar a celeilalte se micșorează și astfel se reduce influența tensiunii semnalului asupra capacității circuitului oscilant din care fac parte diodele varicap.

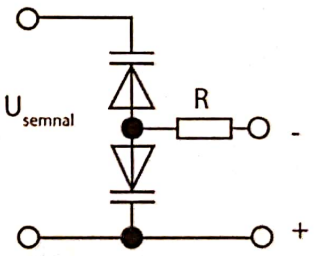


Fig. 3.29. *Conectarea diodelor varicap în serie*

■ ***Polarizarea diodei***

Diodele varicap funcționează în regim de polarizare inversă (fig. 3.30). Aceste componente se comportă ca și condensatoarele variabile și, pentru ca factorul de pierderi să fie cât mai mic, este necesar ca rezistența internă să fie cât mai mare. Această condiție este îndeplinită numai la polarizări inverse.

Tensiunea U_D poate să ia valori în domeniul (0, U_R), unde U_R este tensiunea de străpungere. Dependența dintre tensiunea la bornele diodei și capacitatea acesteia este prezentată în figura 3.31.

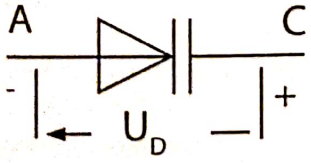


Fig. 3.30. *Polarizarea diodelor varicap*

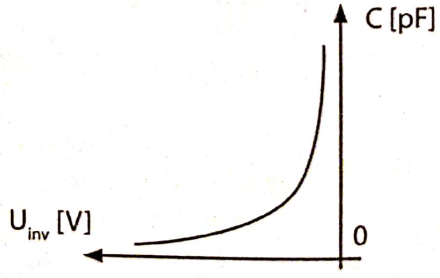


Fig. 3.31. *Caracteristica diodei varicap*

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

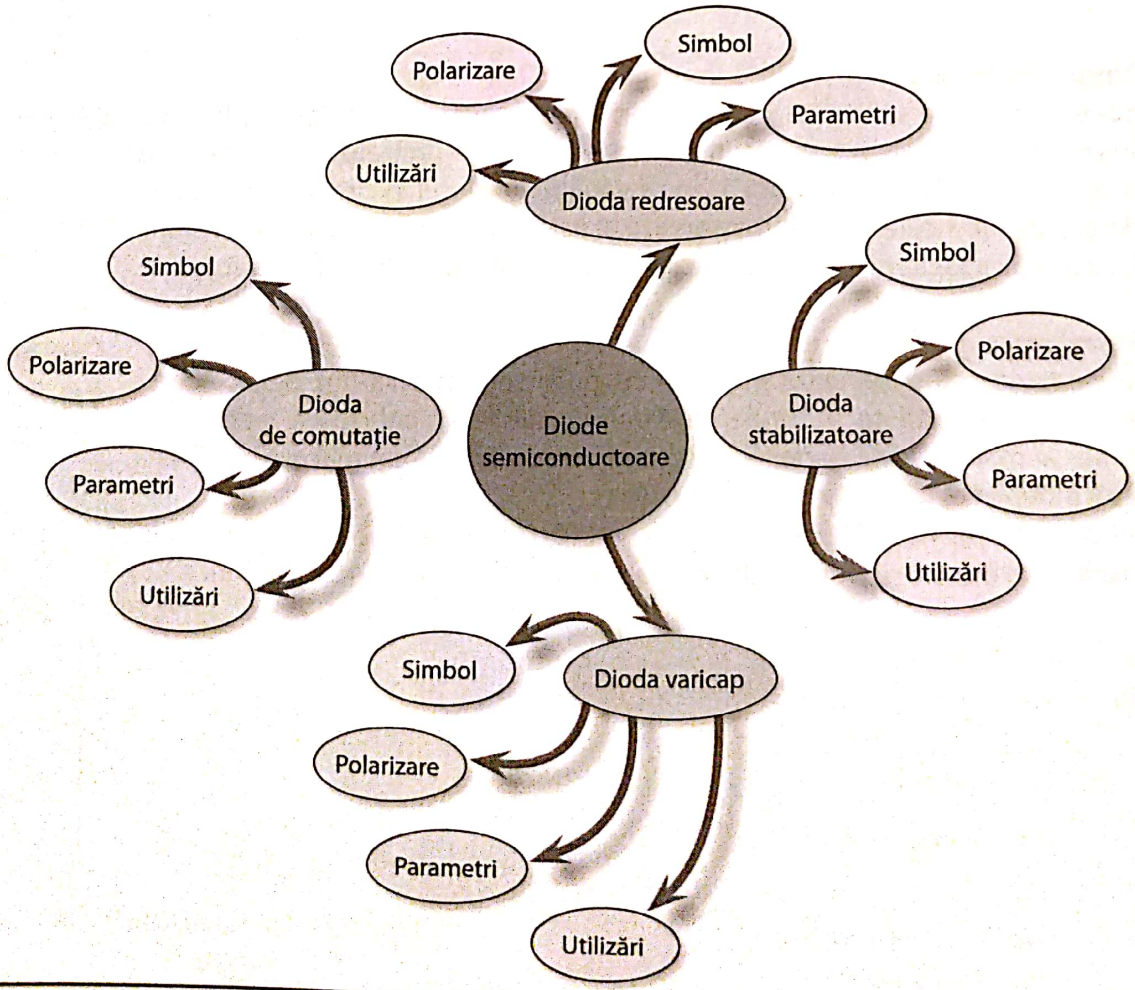
Rezumat

- *Dioda este un dispozitiv electronic care prezintă conducție electrică unilaterală, adică permite trecerea curentului într-un singur sens.*
- *Diodele redresoare utilizează proprietatea joncțiunii **pn** care permite trecerea curentului electric numai atunci când sunt polarizate direct. Se folosesc pentru transformarea tensiunii alternative în tensiune pulsatorie de aceeași polaritate.*
- *Diodele detectoare se folosesc pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu la frecvențe înalte.*
- *Diodele de comutație sunt folosite în circuitele de impulsuri, principalii parametri fiind timpii de comutație din polarizare directă în polarizare inversă și în sens contrar.*
- *Diodele stabilizatoare sunt constituite din joncțiuni **pn** puternic dopate, care funcționează cu polarizare inversă în zona de străpungere (reversibilă).*
- *Diodele se folosesc ca și condensatoare variabile controlate de o tensiune electrică.*

Fișă de lucru

Diode semiconductoare. Diagrama păianjen

– Activitatea se desfășoară cu patru echipe de lucru.
– Fiecare echipă va trage la sorți un tip de diodă și va primi o bulină pe care va fi inscripționat numele diodei și patru buline în care vor fi completate informațiile solicitate.
– După terminarea sarcinilor de lucru, câte un reprezentant al fiecărei echipe va veni la tablă/flipchart și va lipi bulinele completate, ca în figura de mai jos.
– În plenul clasei, analizați și evaluați rezultatele.



Evaluarea cunoștințelor

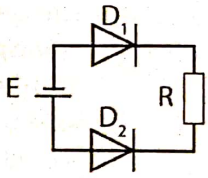


Fig. 3.32

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. Analizând circuitul din figura 3.32, se poate afirma că:
a) D_1 și D_2 conduc;
b) D_1 este blocată și D_2 conduce;
c) D_1 conduce și D_2 este blocată;
d) D_1 și D_2 sunt blocate.

2. Știind că $U > 1{,}5\ U_Z$, tensiunea U_{AB} din figura 3.33 are valoarea:
a) $U_{AB} = U_Z$;
b) $U_{AB} = U_Z + U_D$;
c) $U_{AB} = U_Z - U_D$;
d) $U_{AB} = U$.

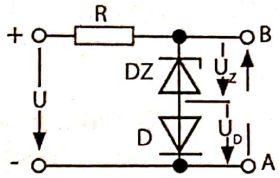


Fig. 3.33

3. În figura 3.34 este reprezentată caracteristica statică pentru diodele:
a) redresoare;
b) varicap;
c) stabilizatoare;
d) cu contact punctiform.

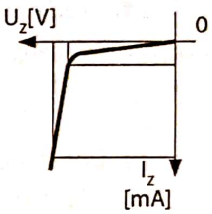


Fig. 3.34

4. Banda colorată desenată pe corpul unei diode stabilizatoare indică:
a) anodul;
b) toleranța;
c) puterea maximă disipată;
d) catodul.

5. Pentru realizarea funcției sale, dioda stabilizatoare trebuie să funcționeze în:
a) polarizare directă;
b) polarizare inversă, la tensiuni mai mici decât tensiunea de străpungere;
c) în zona de străpungere;
d) la tensiuni pozitive.

6. La verificarea de continuitate a unui dispozitiv se realizează o citire de 500 kΩ. Când dispozitivul este inversat, citirea este de 20 Ω. Dispozitivul este:
a) un rezistor;
b) o diodă;
c) un condensator.
d) o bobină.

7. Puterea disipată pe o diodă redresoare se calculează cu relația:
a) $P_d = U_{invmax} I_{inv}$;
b) $P_d = U_d I_{inv}$;
c) $P_d = U_d I_d$;
d) $P_d = U_{invmax} I_{max}$.

8. Pentru a evita efectele supărătoare produse prin încălzire, la diodele redresoare de mare putere se utilizează:
a) capacități de difuzie;
b) capacități de barieră;
c) redresoare;
d) radiatoare.

9. Diodele redresoare funcționează optim la frecvențe:
a) mici, de ordinul frecvenței rețelei de 50 Hz;
b) mari;
c) foarte mari, peste 1 MHz;
d) în curent continuu.

10. Diodele cu contact punctiform sunt utilizate la:
a) frecvențe înalte;
b) stabilizarea tensiunii;
c) frecvențe joase;
d) în curent continuu.

Scanned with OKEN Scanner

11. Joncțiunea *pn* a diodei detectoare:
a) este creată înainte de asamblarea mecanică;
b) este creată după asamblarea mecanică, prin aplicarea ansamblului fir conductor-semiconductor de tip „n" a unui impuls de valoare mare, dar de scurtă durată;
c) acest tip de diodă nu funcționează pe baza joncțiunii *pn*;
d) la diodele cu contact punctiform se utilizează mai multe joncțiuni *pn*.

12. Joncțiunea *pn* a diodei detectoare are o capacitate internă:
a) mare;
b) medie;
c) peste 1 μF;
d) sub 1 pF.

13. Datorită structurii sale interne, dioda detectoare prezintă următoarele proprietăți:
a) poate funcționa și la frecvențe înalte;
b) curentul maxim admisibil este mic;
c) putere disipată este mare;
d) capacitatea echivalentă este mare.

14. Diodele detectoare sunt utilizate în domeniul frecvențelor înalte și ultraînalte ca:
a) rezistență variabilă;
b) schimbătoare de frecvență;
c) stabilizatoare;
d) în regim de impulsuri, ca diode de comutație.

15. Construcția și funcționarea diodelor stabilizatoare se bazează pe proprietatea joncțiunii *pn*:
a) de a avea în regiunea de străpungere o tensiune la borne practic constantă, într-un domeniu larg de variații a curentului invers;
b) de a prezenta o capacitate de barieră;
c) de a avea o funcționare (conducție) unidirecțională;
d) de a prezenta la frecvențe înalte o impedanță mică.

16. O diodă stabilizatoare funcționează:
a) în polarizare inversă, în regim de străpungere controlată;
b) în polarizare directă, ca diodă obișnuită;
c) în regim de oscilator.
d) la frecvențe înalte.

17. O diodă stabilizatoare utilizează, la funcționarea normală, zona caracteristicii unei joncțiuni *pn* situată în cadranul:
a) I al caracteristicii;
b) II al caracteristicii;
c) III al caracteristicii;
d) IV al caracteristicii.

18. Diodele varicap sunt diode cu joncțiuni funcționând în regim de:
a) polarizare directă;
b) polarizare inversă până la valoarea de străpungere;
c) polarizare inversă peste valoarea de străpungere;
d) nepolarizate.

19. O diodă varicap se poate utiliza ca:
a) potențiometru;
b) condensator variabil;
c) stabilizator;
d) bobină variabilă.

Scanned with OKEN Scanner

II. Completează spațiile libere cu termenii corespunzători.

1. Electronii sunt purtători majoritari de sarcină în semiconductorul de tip .... .
2. Joncțiunea *pn* polarizată invers este străbătută de un curent electric de valoare foarte .... .
3. Dioda Zener îndeplinește funcția de stabilizare dacă este polarizată .... .
4. Diodele detectoare funcționează la frecvențe .... .
5. Atomul care cedează electroni devine ion .... .

III. Notează litera A în dreptul afirmațiilor de mai jos, dacă afirmațiile sunt adevărate, sau litera F, dacă acestea sunt false.

A/F 1. Tensiunea la bornele unei joncțiuni *pn* polarizată direct este de 0,2÷0,8 V.

A/F 2. Rezistența unei diode scurtcircuitate este foarte mare.

A/F 3. Dioda stabilizatoare polarizată direct se comportă ca o diodă redresoare.

A/F 4. Dacă se depășesc valorile parametrilor-limită ai diodelor, se poate distruge componenta.

A/F 5. Capacitatea diodelor varicap se modifică după o lege liniară, în funcție de tensiunea aplicată la borne.

IV. În coloana A sunt indicate tipuri de diode, iar în coloana B, simboluri. Stabilește asocierile corecte dintre fiecare cifră din coloana A și litera corespunzătoare din coloana B.

	Tip de diodă		Simbol
1.	redresoare	a.	
2.	stabilizatoare	b.	
		c.	

V. Rezolvă următoarele probleme.

1. Măsurând rezistența internă a unei diode stabilizatoare au rezultat următoarele valori din figură. Stabilește starea diodei.

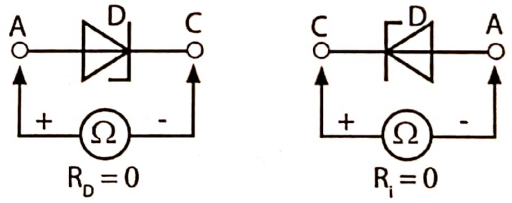


Fig. 3.35

2. Reprezintă caracteristica statică a diodei stabilizatoare în sistemul de axe de coordonate din figura 3.36.

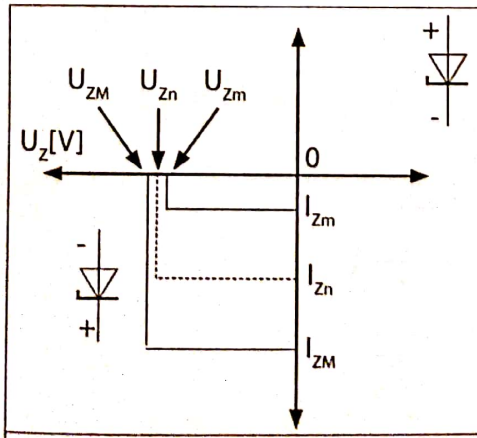


Fig. 3.36

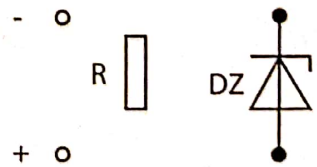


Fig. 3.37

Scanned with OKEN Scanner

3. Conectează elementele din figura 3.37 într-un circuit care să asigure funcţionarea diodei DZ în regim de stabilizare.

4. Se consideră circuitul din figura 3.38. Dimensionează rezistenţa *R*, ştiind că dioda D (1N 4001) este cu siliciu, iar curentul în circuit este de 60 mA .

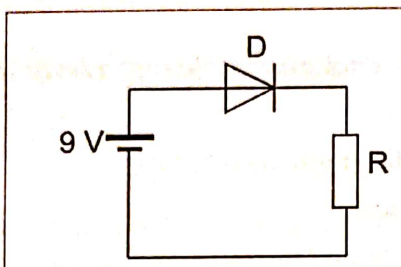


Fig. 3.38

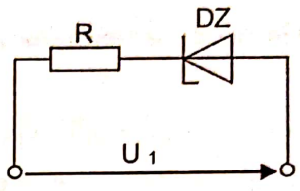


Fig. 3.39

5. Pentru valorile $R_Z = 10\ \Omega$, $P_{DZ} = 350$ mW, $U_Z = 9$ V, $U_1 = 12\ \text{V} \pm 10\%$ din figura 3.39, calculează valoarea minimă necesară pentru rezistenţa *R* pentru ca dioda să nu se distrugă.

6. Referitor la dioda stabilizatoare, răspunde următoarelor cerinţe:
a) Precizează polarizarea diodei stabilizatoare pentru a-şi îndeplini funcţia de stabilizare.
b) Reprezintă, pe fişa de evaluare, caracteristica statică a diodei stabilizatoare.
c) Precizează semnificaţia a trei parametri electrici ai diodei stabilizatoare.

7. În schema din figura 3.40 se utilizează două diode de siliciu: o diodă stabilizatoare cu tensiunea nominală de 6,3 V şi o diodă redresoare ($U_D = 0{,}7$ V). Valoarea tensiunii de alimentare este de 9 V, iar valoarea rezistorului, $R = 1\ \text{k}\Omega$. Calculează intensitatea curentului electric prin rezistorul *R*.

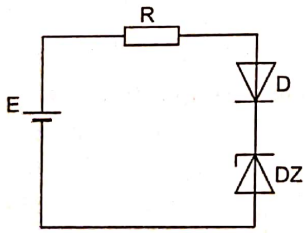


Fig. 3.40

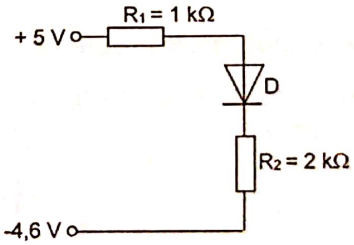


Fig. 3.41

8. Dioda din figura 3.41 este o diodă de siliciu ($U_D = 0{,}6$ V).
a) Determină tensiunea la bornele rezistorului R_1.
b) Determină tensiunea între punctele *A* şi *B*.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Măsurarea parametrilor diodelor

▸ ***Obiective:***

– măsurarea rezistenței diodei la polarizarea directă (R_D) și la polarizarea inversă (R_I);
– măsurarea tensiunii la bornele diodei și a intensității curentului electric ce o străbate la polarizarea directă;
– măsurarea tensiunii la bornele diodei și a intensității curentului electric ce o străbate la polarizarea inversă;
– măsurarea capacității diodelor varicap în funcție de tensiunea aplicată la bornele acestora.

▸ ***Aparate și componente:***

– multimetru analogic sau digital;
– diode (redresoare, stabilizatoare, varicap);
– rezistoare;
– platformă de lucru;
– conductoare de legătură;
– sursă de curent continuu cu tensiune stabilizată și reglabilă.

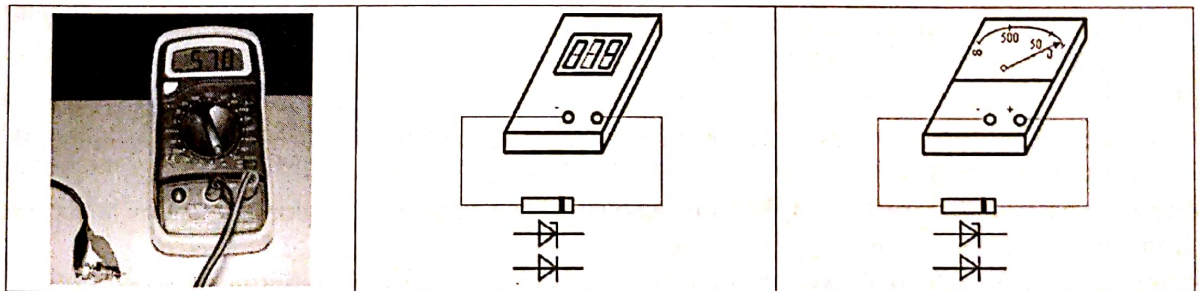
▸ ***Desfășurarea lucrării:***

– realizează montajele corespunzătoare circuitelor din figurile 3.42; 3.43; 3.44; 3.45 și 3.46;
– completează tabelele de valori solicitate;
– formulează concluzii cu privire la valorile mărimilor măsurate.

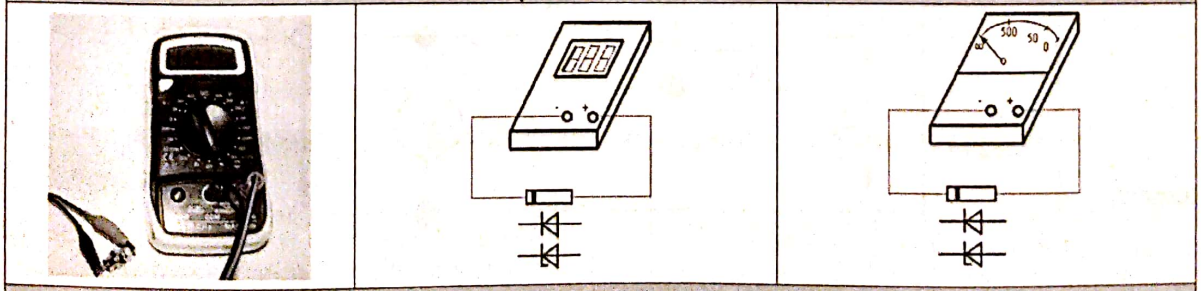
I. Măsurarea rezistenței diodei la polarizare directă (R_D) și la polarizare inversă (R_I)

Măsurarea rezistenței interne a diodelor se poate efectua cu multimetrul analogic sau digital. În continuare, sunt prezentate ambele metode. Polarizarea directă, respectiv polarizarea inversă a diodelor se realizează de la bateria internă a aparatelor de măsură, astfel:

✓alege un număr de diode redresoare, stabilizatoare și cu contact punctiform;
✓conectează fiecare diodă la bornele multimetrului, așa cum se indică în figura 3.42.a, dacă aparatul de măsură este analogic, sau ca în figura 3.42.b, dacă aparatul de măsură este digital, și măsoară astfel rezistența R_D la polarizare directă și rezistența R_I la polarizare inversă;
✓fixează comutatorul selector al aparatului de măsură pe poziția $\rightarrow\!|\!\leftarrow$, pentru multimetrele digitale, și pe domeniul Ω, pentru multimetrele analogice. Înscrie, în tabelul 3.13, valorile indicate de multimetru pentru rezistențele R_D și R_I;
✓pe baza rezultatelor măsurătorilor efectuate, stabilește starea fiecărei diode în parte.



a) *polarizate direct*



b) *polarizate invers*

Fig. 3.42. *Măsurarea rezistenței interne a diodelor cu multimetrul digital și analogic*

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.13

Tipul diodei	Codul	R_D [Ω]	R_I [Ω]	Starea diodei	
				Funcţională	Defectă
Redresoare	1N 4001 ▪ ▪ ▪				
Stabilizatoare	PL 5V6Z ▪ ▪ ▪				
Cu contact punctiform	1N 4148 ▪ ▪ ▪				

▸ ***Concluzie***

Valorile măsurate pentru rezistenţele R_D şi R_I conduc la următoarea afirmaţie: rezistenţa R_D are valori foarte mici, iar rezistenţa R_I are valori foarte mari.

II. Măsurarea tensiunii la bornele diodei şi a intensităţii curentului electric ce o străbate la polarizare directă şi polarizare inversă. Trasarea caracteristicii statice

■ ***Diode redresoare***

✓pe platforma de lucru, realizează montajul corespunzător circuitului din figura 3.43;

✓reglează, progresiv, valoarea tensiunii de alimentare U_A, începând de la 0 V, astfel încât prin circuit să treacă curenţi cu valoarea intensităţii electrice indicate în tabelul 3.14;

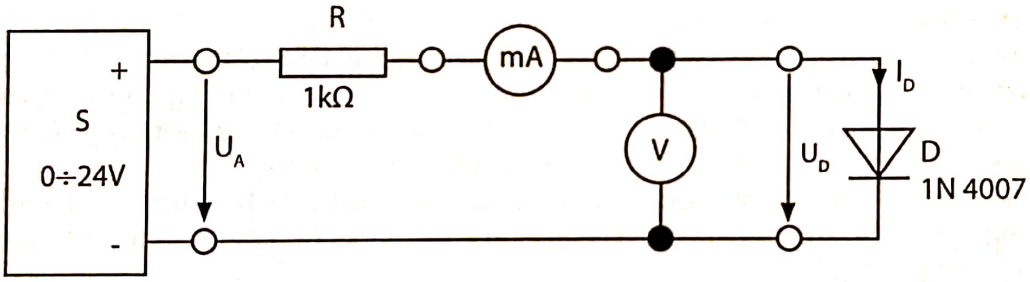


Fig. 3.43. *Polarizarea directă a diodei redresoare*

Tabelul 3.14

I_D [mA]	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1	4	8	12	20
U_D [V]															

✓pentru fiecare valoare a intensităţii curentului electric, măsoară tensiunea U_D la bornele diodei, iar valorile înscrie-le în tabelul 3.14;

✓pe baza datelor din tabelul 3.14, formulează o concluzie cu privire la valorile tensiunii la bornele diodei redresoare polarizate direct;

✓pe platforma de lucru, realizează montajul corespunzător circuitului din figura 3.44;

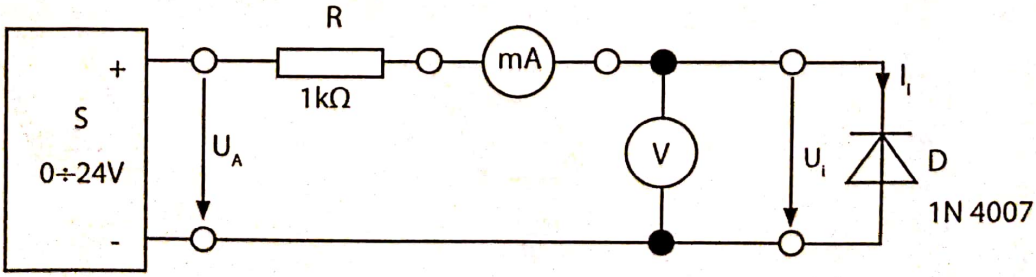


Fig. 3.44. *Polarizarea inversă a diodei redresoare*

✓reglează, progresiv, tensiunea de alimentare U_A începând de la 0 V, astfel încât tensiunea U_I la bornele diodei să aibă valorile indicate în tabelul 3.15;

✓pentru fiecare valoare a tensiunii U_I, măsoară intensitatea curentului electric cu ajutorul microampermetrului, iar valorile citite înscrie-le în tabelul 3.15;
✓pe baza datelor din tabelul 3.15, formulează o concluzie cu privire la valorile intensității curentului electric prin dioda polarizată invers.

Tabelul 3.15

U_I [V]	0	4	8	12	16	20
I_I [mA]						

✓transpune datele din tabelele de valori într-un sistem de axe de coordonate și trasează, prin puncte, caracteristica statică.

■ ***Diode stabilizatoare***

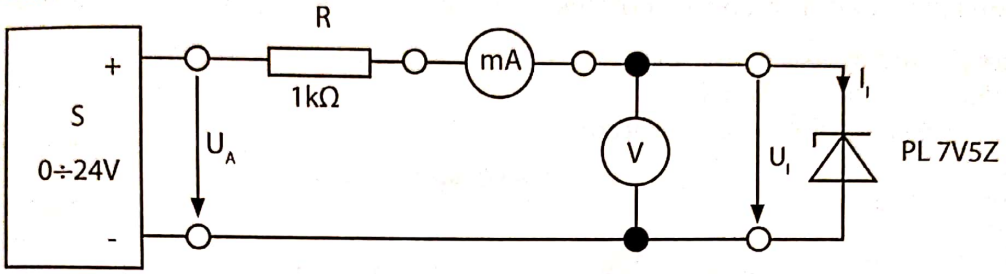


Fig. 3.45. *Polarizarea inversă a diodei stabilizatoare*

✓pe platforma de lucru, realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 3.45;
✓reglează valoarea tensiunii sursei de alimentare U_A de la 0 V la 12 V, astfel încât valorile acesteia să corespundă cu cele înscrise în tabelul 3.16;

Tabelul 3.16

U_A [V]	0	2	4	6	6,5	6,8	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8	10	12	14
U_Z [V]															
I_Z [V]															

✓pentru fiecare valoare a tensiunii de alimentare, măsoară intensitatea curentului electric prin circuit I_Z și tensiunea la bornele diodei U_Z, iar valorile acestor mărimi înscrie-le în tabelul 3.16;
✓pe baza datelor din tabelul 3.16, formulează o concluzie cu privire la valorile tensiunii U_Z;
✓transpune datele din tabelele de valori într-un sistem de axe de coordonate și trasează, prin puncte, caracteristica statică.

III. Măsurarea capacității diodelor varicap în funcție de tensiunea aplicată la bornele acestora

Dioda varicap polarizată invers se comportă ca un condensator variabil a cărui capacitate depinde de tensiunea aplicată la bornele diodei. Pentru măsurarea capacității, vei parcurge următoarele **etape**:
✓realizează montajul corespunzător circuitului din figura 3.46;
✓reglează sursa *S* astfel încât tensiunea U_R la bornele diodei să aibă valorile înscrise în tabelul 3.17;

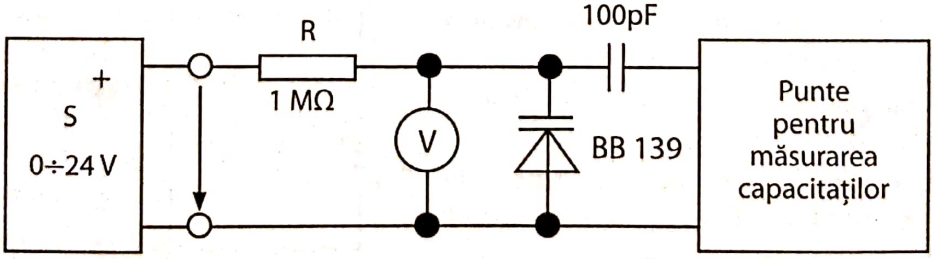


Fig. 3.46. *Măsurarea capacității diodelor varicap la diferite tensiuni de polarizare*

Tabelul 3.17

U_R [V]	3	4	5	10	15	20
C [pF]						

✓pentru fiecare valoare a tensiunii U_R, măsoară valoarea capacității *C* cu ajutorul punții de măsură, iar valorile obținute înscrie-le în tabelul 3.17;
✓pe baza datelor din tabel, formulează o concluzie cu privire la valoarea capacității *C*, în funcție de valoarea tensiunii U_R.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

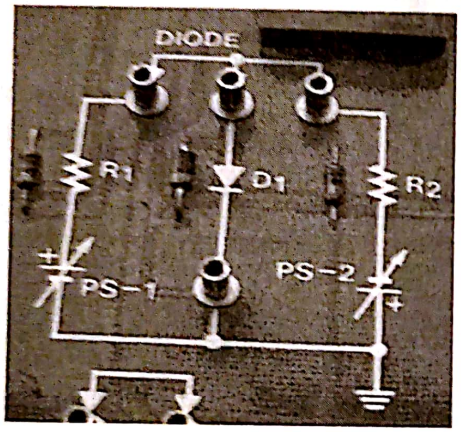
Caracteristica statică a diodei semiconductoare

▸ ***Obiective:***

– caracterizarea diodelor semiconductoare cu ajutorul caracteristicilor statice;
– realizarea circuitului echivalent pentru diferite tipuri de diode semiconductoare;
– analizarea circuitelor electronice simple folosind modele echivalente ale componentelor discrete.

▸ ***Aparate şi componente:***

– multimetru analogic sau digital;
– diode (redresoare, stabilizatoare, varicap);
– rezistoare;
– platformă de lucru;



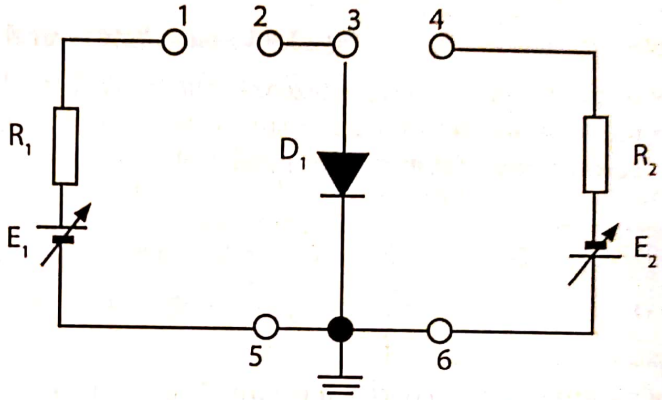


Fig. 3.47

– conductoare de legătură;
– sursă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă.

▸ ***Desfăşurarea lucrării:***

Realizează (sau identifică) circuitul din figura 3.47 pe platforma experimentală din laborator.
$R_1 = 220\ \Omega$; $R_2 = 100\ k\Omega$; D_1 – 1N4001

■ ***Polarizarea directă:***

1. Conectează miliampermetrul între bornele notate cu 1 şi 2, iar voltmetrul, între bornele notate cu 2 şi 5, ca în figura 3.48.
2. Alimentează circuitul de la sursa de tensiune variabilă E_1.
3. Reglează tensiunea furnizată de sursa de alimentare, astfel încât voltmetrul să indice $U_D = 0{,}1$ V.
4. Măsoară curentul prin circuit. Notează valoarea măsurată în tabelul 3.18.
5. Repetă paşii 3 şi 4 pentru toate valorile tensiunii U_D din tabelul 3.18.

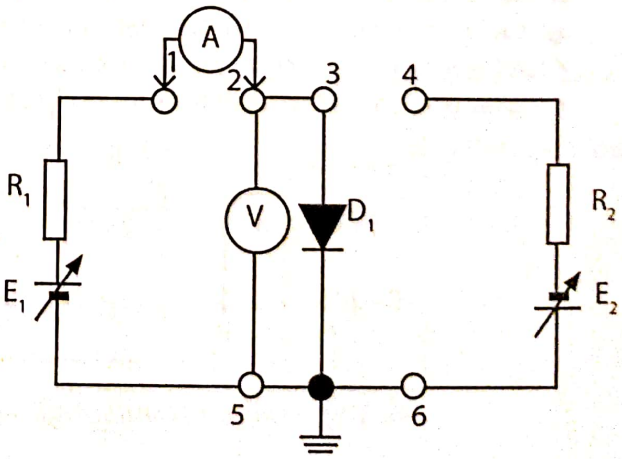


Fig. 3.48

Scanned with OKEN Scanner

6. Cu ajutorul calculatorului şi al programului Microsoft Excel, realizează diagrama care reprezintă caracteristica statică a diodei semiconductoare, în polarizare directă.

Tabelul 3.18

U_D[V]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_D[mA]											

7. Analizează aspectul caracteristicii statice a diodei semiconductoare, în polarizare directă.

Rezistența de curent continuu

Cu ajutorul graficului, determină rezistența de curent continuu a diodei în punctele:

M_1: $U_D = 0{,}5$ V.

M_2: $U_D = 0{,}65$ V.

Folosește relația: $R_M = \frac{U_M}{I_M}$

Rezistența dinamică

Cu ajutorul graficului, determină rezistența dinamică a diodei în punctele:

$U_D = 0{,}5$ V.

$U_D = 0{,}65$ V.

Folosește relația: $r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$

r_d (0,5 V) = ...

r_d (0,65 V) = ...

Compară rezultatele obținute.

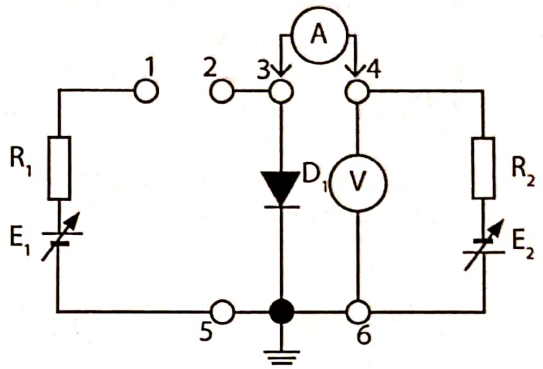


Fig. 3.49

■ ***Polarizarea inversă:***

1. Conectează miliampermetrul între bornele notate cu 3 şi 4, iar voltmetrul, între bornele notate cu 4 şi 6, ca în figura 3.49.

2. Alimentează circuitul de la sursa de tensiune variabilă E_2. Reglează tensiunea furnizată de sursa de alimentare, astfel încât voltmetrul să indice $U_D = 0$ V.

4. Măsoară curentul prin circuit. Notează valoarea măsurată în tabelul 3.19.

5. Repetă paşii 3 şi 4 pentru toate valorile tensiunii E_2 din tabelul 3.19.

6. Cu ajutorul calculatorului şi al programului Microsoft Excel, realizează diagrama care reprezintă caracteristica statică a diodei semiconductoare, în polarizare directă.

Tabelul 3.19

E_2[V]	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
U_D [V]											
I_R [μA]											

7. Analizează aspectul caracteristicii statice a diodei semiconductoare, în polarizare inversă.

■ ***Reprezentarea caracteristicii statice a diodei semiconductoare***

1. Reprezintă, pe o singură diagramă, caracteristica statică a diodei semiconductoare.

2. Reprezintă, pe caracteristică, parametrii electrici ai diodei:

– tensiunea de deschidere;

– tensiunea maximă;

– tensiunea de străpungere.

3. Analizează caracteristica statică a diodei semiconductoare.

4. Realizează circuitul echivalent, la frecvențe joase, al diodei redresoare.

a) Repetă lucrarea practică de laborator înlocuind dioda D_1 cu dioda D_2.

b) Compară rezultatele obținute.

c) Întocmește un referat cu tema „Caracteristica statică a diodei semiconductoare".

Scanned with OKEN Scanner

Simulare cu ajutorul calculatorului

Caracteristica statică a diodei semiconductoare

▸ **Resurse:** calculator, program de simulare **Multisim**.

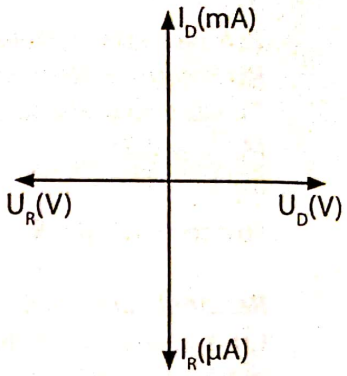


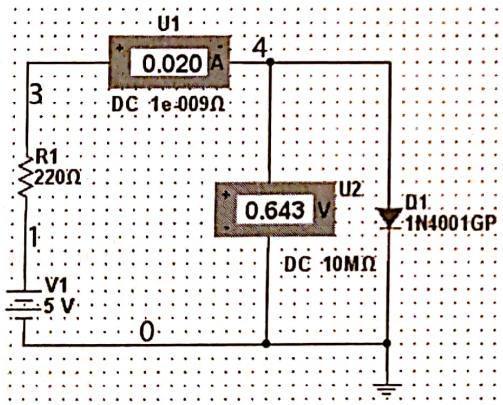
Fig. 3.50

■ ***Polarizarea directă***

1. Realizează cu ajutorul calculatorului şi al programului de simulare circuitul din figura 3.51.
2. Reglează tensiunea furnizată de sursa de alimentare, astfel încât voltmetrul să indice $U_D = 0{,}1$ V.
3. Măsoară curentul prin circuit. Notează valoarea măsurată în tabelul 3.20.
4. Repetă paşii 2 şi 3 pentru toate valorile tensiunii U_D din tabelul 3.20.
5. Cu ajutorul calculatorului şi al programului Microsoft Excel, realizează diagrama care reprezintă caracteristica statică a diodei semiconductoare, în polarizare directă.

Tabelul 3.20

U_D[V]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_D[mA]											



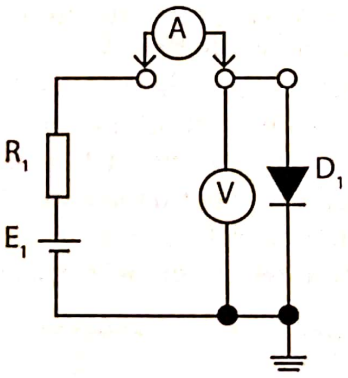


Fig. 3.51

6. Analizează aspectul caracteristicii statice a diodei semiconductoare, în polarizare directă.

■ ***Polarizarea inversă***

1. Realizează cu ajutorul calculatorului şi al programului de simulare circuitul din figura 3.52.
2. Reglează tensiunea furnizată de sursa de alimentare, astfel încât voltmetrul să indice $U_D = 0$ V.
3. Măsoară curentul prin circuit. Notează valoarea măsurată în tabelul 3.21.
4. Repetă paşii 1 şi 2 pentru toate valorile tensiunii E_2 din tabelul 3.21.
5. Cu ajutorul calculatorului şi al programului Microsoft Excel, realizează diagrama care reprezintă caracteristica statică a diodei semiconductoare, în polarizare directă.
6. Analizează aspectul caracteristicii statice a diodei semiconductoare, în polarizare inversă.

Scanned with OKEN Scanner

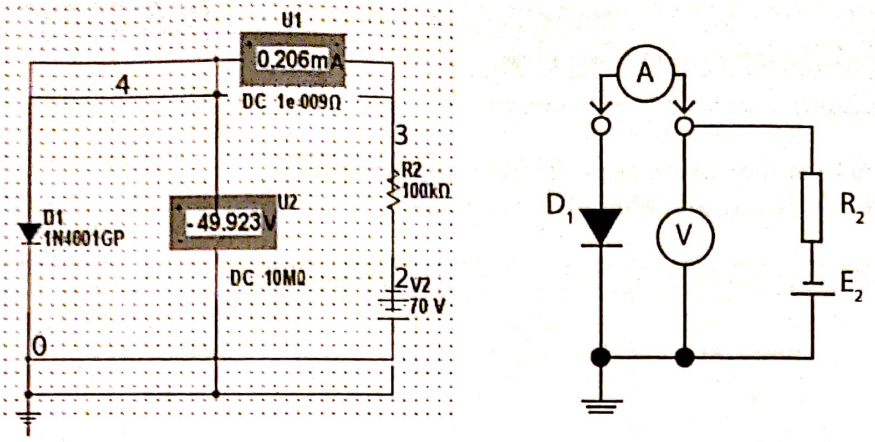


Fig. 3.52

Tabelul 3.21

E_2 [V]	0	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70
U_D [V]											
I_R [μA]											

■ ***Reprezentarea caracteristicii statice a diodei semiconductoare***

1. Reprezintă, pe o singură diagramă, caracteristica statică a diodei semiconductoare.

2. Reprezintă, pe caracteristică, parametrii electrici ai diodei:
– tensiunea de deschidere;
– tensiunea maximă;
– tensiunea de străpungere.

3. Analizează caracteristica statică a diodei semiconductoare.

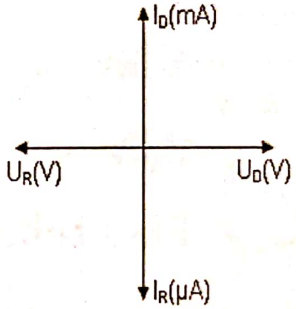


Fig. 3.53

■ ***Reprezentarea caracteristicii statice a diodei semiconductoare cu ajutorul osciloscopului***

1. Realizează cu ajutorul calculatorului şi al programului de simulare circuitul din figura 3.54.

2. Vizualizează imaginea obţinută pe ecranul osciloscopului.

3. Analizează oscilograma obţinută.

4. Interpretează rezultatele obţinute.

5. Compară cu rezultatele obţinute în cadrul lucrării practice de laborator.

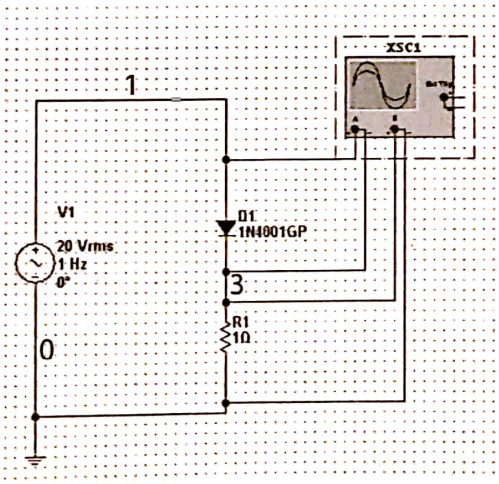


Fig. 3.54

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

• **Alege diodele în funcție de anumiți parametri precizați.**
Folosind foile de catalog, identifică codurile diodelor pentru care se cunosc valorile parametrilor specificați.

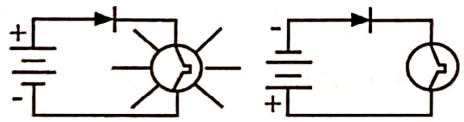
Tabelul 3.22

Diode redresoare				
Codul diodei	Curentul direct continuu [A]	Curentul mediu redresat [A]	Tensiunea inversă de vârf repetitivă [V]	Tensiunea continuă directă [V]
	1,15	1	100	1,1
	6,5	6	200	1,4
Diode stabilizatoare				
Codul diodei	Tensiunea nominală de stabilizare [V]	Curentul de stabilizare maxim [mA]	Rezistența diferențială în regiunea de stabilizare [Ω]	Puterea maximă disipată [W]
	8,2	110	4,5	1
	10	94	4	1

Diode varicap		
Codul diodei	Tensiunea inversă de vârf [V]	Capacitatea totală [pF]
	30	2...3 la 25 V
	20	63 la 10 V

Fișe tehnologice

I. Pe baza fișei tehnologice de mai jos, realizează practic un **Montaj pentru verificarea conducției unilaterale a diodei.**

Lucrare practică: Montaj pentru verificarea conducției unilaterale a diodei	
Schema electrică	**Schema cablajului**
	

Nr. crt.	Operații (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Autoevaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificațiilor schemei electronice		multimetru	diodă, bec, cablaj imprimat, conductori de legătură, sursă de 6 V		
3.	Precizarea parametrilor specifici și a valorilor limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	diodă, bec, cablaj imprimat, conductori de legătură sursa de 6 V		
4.	Identificarea poziției componentelor pe cablajul imprimat, conform documentației tehnice			diodă, bec, cablaj imprimat, conductori de legătură, sursă de 6 V		

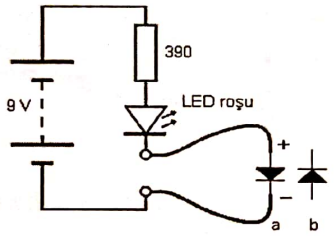
Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Autoevaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
5.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		diodă, bec, cablaj imprimat, conductori de legătură, sursă de 6 V		
6.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		diodă, bec, cablaj imprimat, conductori de legătură, sursă de 6 V		
7.	Verificarea montajului		multimetru	montaj		
8.	Măsurarea căderilor de tensiune pe diodă, respectiv pe bec, în ambele situaţii		multimetru	montaj		

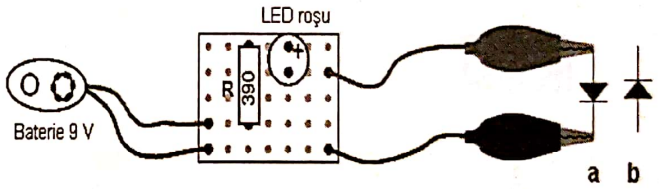
II. Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un **Montaj pentru verificarea diodelor.**

Lucrare practică: Montaj pentru verificarea diodelor

Schema electrică



Schema cablajului



Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Autoevaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		multimetru	diode electroluminis-cente, roşii, rezistoare, cablaj imprimat, conductori de legătură		
3.	Precizarea parametrilor specifici şi a valorilor-limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	diode electroluminis-cente, roşii, rezistoare, cablaj imprimat, conductori de legătură		
4.	Identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat, conform documentaţiei tehnice			diode electroluminis-cente roşii, rezistoare, cablaj imprimat, conductori de legătură		
5.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		diode electroluminis-cente, roşii, rezistoare, cablaj imprimat, con-ductori de legătură		
6.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		diode electroluminis-cente roşii, rezistoare, cablaj imprimat, conductori de legătură, fludor		
7.	Verificarea montajului					

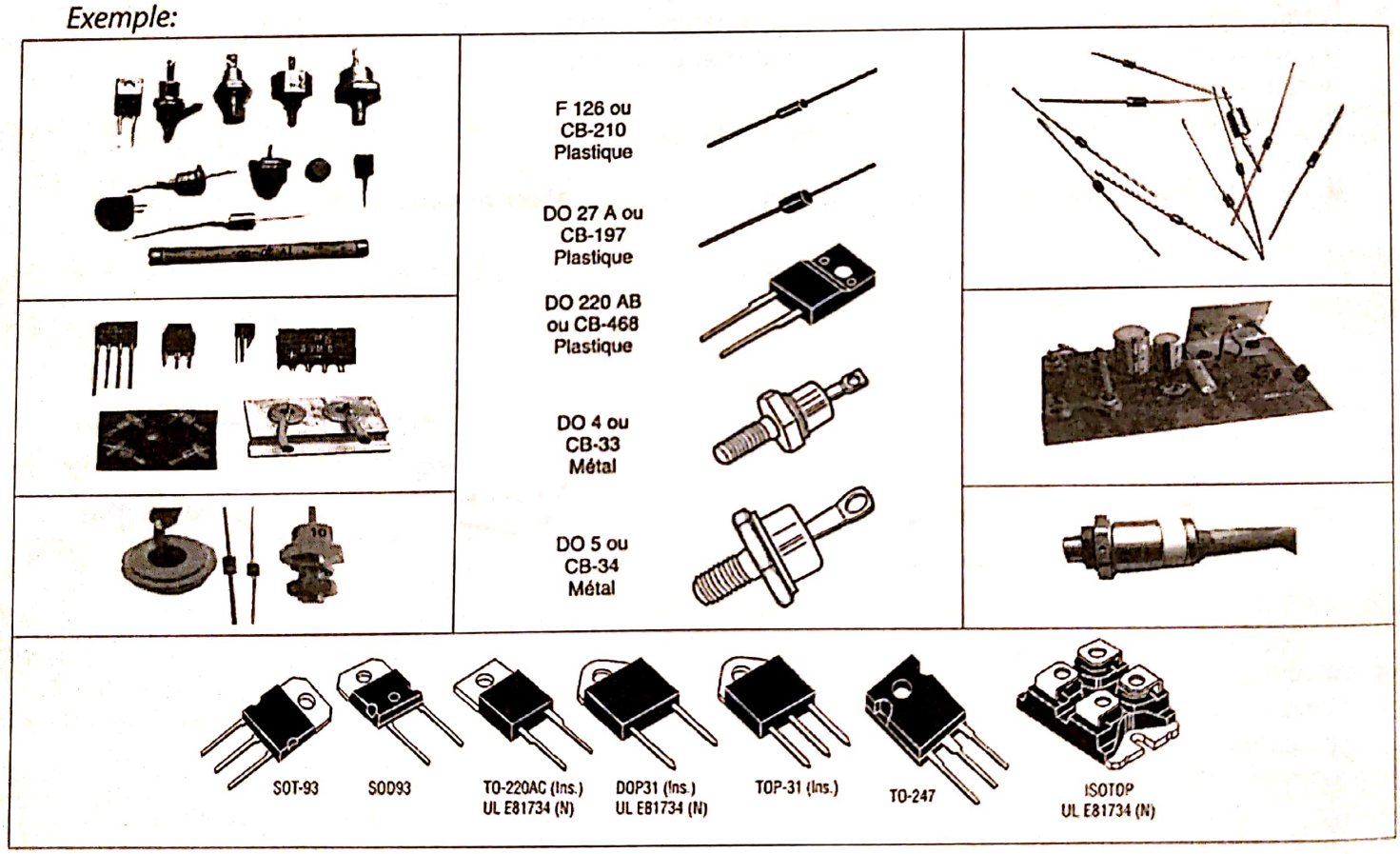
Scanned with OKEN Scanner

Studiu de caz

Identificarea tipurilor constructive de diode semiconductoare

– Identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, Internet etc.), diferite tipuri constructive de diode semiconductoare.
– Analizează fiecare componentă.
– Compară componentele analizate.

Exemple:



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 4 Tranzistoare

4.1. Introducere

Inventarea tranzistorului (6 decembrie 1947) este considerată ca unul din marile evenimente care stau la baza revoluției tehnico-științifice contemporane.

Primele tranzistoare comerciale (anii 50) au fost realizate din germaniu. Introducerea tehnologiei planare (1960) specifică siliciului a pus bazele dezvoltării tranzistoarelor și a circuitelor integrate.

În momentul de față, circuitele integrate domină în numeroase aplicații, care aparțineau înainte tranzistoarelor discrete. Există însă și domenii unde, din motive tehnice și economice, tranzistoarele discrete continuă și vor continua să domine piața componentelor electronice.

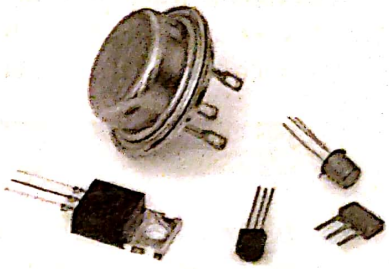


Fig. 4.1. *Tranzistori*

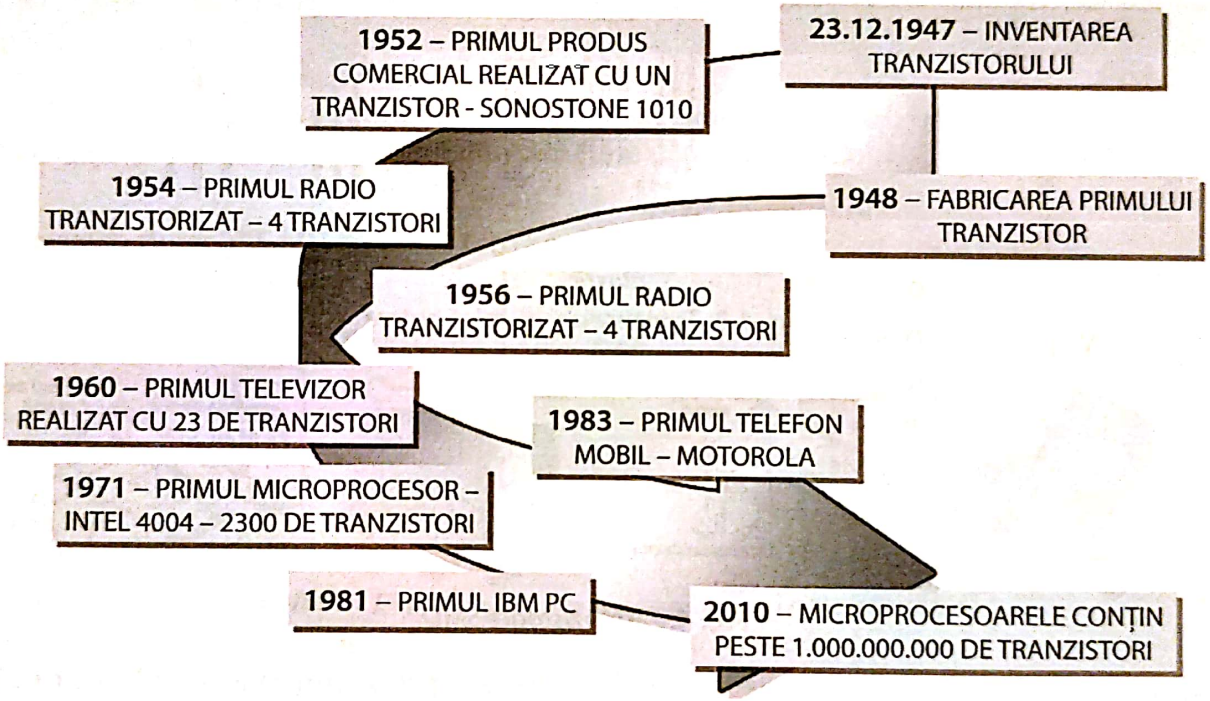


Fig. 4.2. *Evoluția tranzistorului*

Știați că ...?

Specialiștii de la Compania Intel estimează că în fiecare an sunt fabricate aproximativ 10 decalioane de tranzistori. Adică de 10.000 de ori mai mult decât numărul total de furnici de pe Pământ.

Tranzistorul este un dispozitiv electronic care prezintă două proprietăți: ***amplificare*** și ***comutație.***

Proprietatea de amplificare *constă în faptul că semnalul obținut la ieșirea dispozitivului poate avea* ***putere mai mare*** *decât semnalul aplicat la intrarea acestuia.*

Proprietatea de comutație *constă în faptul că tranzistorul poate trece din starea de* ***conducție*** *în starea de* ***blocare*** *și invers, prin intermediul unui semnal de comandă.*

Scanned with OKEN Scanner

4.2. Tipuri de tranzistoare

Tranzistorul se poate realiza pe baza mai multor structuri fizice.
În funcţie de tehnologia de realizare, tranzistoarele se clasifică astfel:

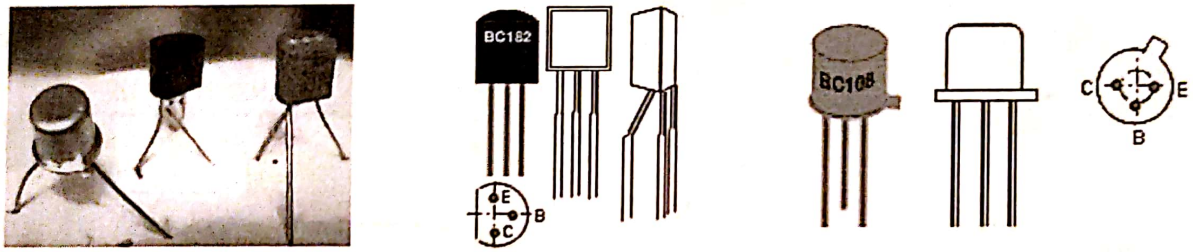
- tranzistoare bipolare;
- tranzistoare cu efect de câmp cu joncţiuni (TEC J);
- tranzistoare cu efect de câmp cu poartă izolată (TEC MOS);
- tranzistoare unijoncţiune etc.

În continuare vor fi analizate tranzistoarele bipolare şi tranzistoarele cu efect de câmp.

4.3. Clasificarea tranzistoarelor după puterea disipată

a. Tranzistoare de mică putere

Aceste tranzistoare sunt încapsulate în plastic sau metal şi nu sunt destinate montării pe radiator. În figura 4.3 sunt prezentate unele din cele mai utilizate tipuri de capsule şi configuraţia terminalelor.



a) Aspect fizic *b) TO – 92 Capsula de plastic* *c) TO – 72 Capsula de metal*

390 LED roşu

9 V LED roşu

Fig. 4.3. *Tranzistoare de mică putere*

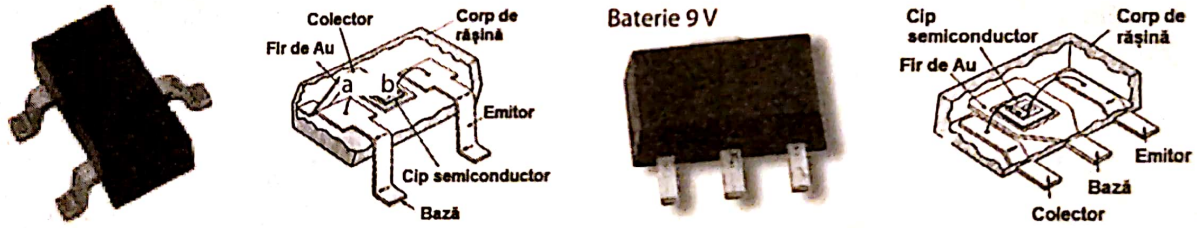
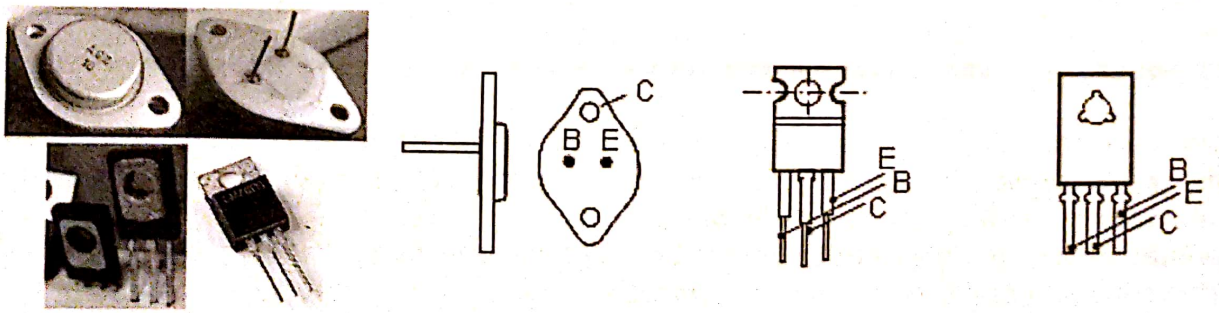


Fig. 4.4. *Tranzistoare SMD*

Tranzistoarele SMD sunt disponibile în capsule cu trei sau patru terminale, identificate ca SOT (***Small Outline Transistor)***.

b. Tranzistoare de putere

Aceste tranzistoare sunt încapsulate în plastic sau metal (figura 4.5. a) şi sunt destinate montării pe radiator. În figura 4.5 b, c, d sunt prezentate unele dintre cele mai utilizate tipuri de capsule şi configuraţia terminalelor.



a) *Aspect fizic* **b)** *Capsula TO 03* **c)** *Capsula TO 220* **d)** *Capsula SOT 32*

Fig. 4.5. *Tranzistoare de putere*

Scanned with OKEN Scanner

4.4. Clasificarea tranzistoarelor după frecvența de lucru

a. Tranzistoare de joasă frecvență

Sunt tranzistoare destinate utilizării până la frecvența de circa 100 kHz, în circuite audio și de control al puterii.

b. Tranzistoare de înaltă frecvență

Sunt tranzistoare destinate aplicațiilor la frecvențe peste 100 kHz, cum este domeniul radio–TV, circuite de microunde, circuite de comutație etc.

Știați că ...?

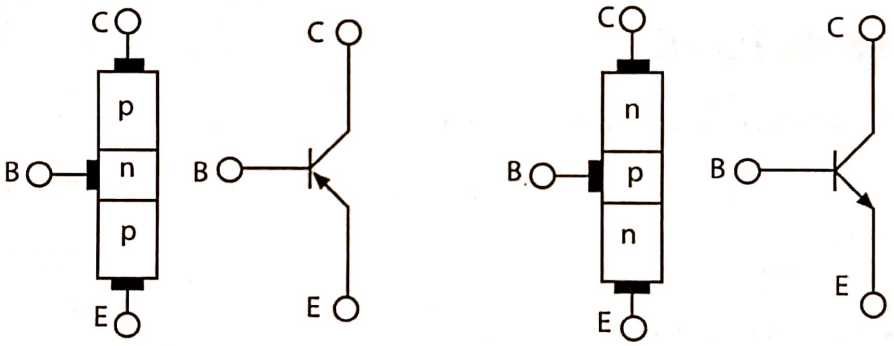
Inițial, tranzistoarele au fost construite câte unul pe un monocristal semiconductor. Pentru a realiza un circuit electronic, ele erau interconectate cu ajutorul conductoarelor.

În 1958, Jack Kilby a inventat circuitul integrat, un circuit electronic ale cărui componente sunt realizate pe un singur monocristal semiconductor.

În prezent, se realizează miliarde de tranzistoare pe același cristal semiconductor.

4.5. Tranzistorul bipolar

Tranzistorul bipolar este un dispozitiv electronic realizat dintr-un **monocristal semiconductor** în care sunt realizate **două joncțiuni *pn,*** situate în **imediată vecinătate** una față de cealaltă.



Tranzistor pnp ***Tranzistor npn***

Fig. 4.6. *Structura și simbolul tranzistorului*

După cum se observă și din figura 4.6, în structura fizică a unui tranzistor bipolar există trei regiuni distincte: două regiuni cu un anumit tip de impurificare, *n* sau *p*, separate de o regiune de tip opus. Datorită rolului pe care îl îndeplinesc în funcționarea tranzistorului bipolar, aceste regiuni se numesc:

- emitor;
- bază;
- colector.

Săgeata din simbol corespunde joncțiunii *pn* emitor-bază. Vârful săgeții merge întotdeauna de la zona *p* spre zona *n*. Ea arată și sensul normal pozitiv al curentului electric prin tranzistor (de la plus la minus).

Tranzistorul se numește **bipolar** deoarece funcționarea sa se bazează pe **participarea la conducția curentului electric a două tipuri de purtători de sarcină** electrică, de semn diferit: **electronii**, respectiv **golurile**.

De reținut!

Tranzistorul bipolar poate fi o structură *npn* sau *pnp*. Două tranzistoare cu caracteristici identice, dar de tipuri diferite se numesc **tranzistoare complementare.**

Scanned with OKEN Scanner

4.5.1. Aspect fizic

După cum s-a arătat în paragraful anterior, **tranzistorul este un dispozitiv electronic cu trei borne** (terminale sau electrozi), care fac legătura la cele trei regiuni ale cristalului semiconductor.

Observație *Așa arăta primul tranzistor, realizat în decembrie 1947 și brevetat în 1948.*

Aspectul tranzistoarelor depinde de natura aplicației pentru care sunt destinate.

Tranzistoarele bipolare pot fi clasificate după mai multe criterii, cele mai utilizate fiind puterea disipată și frecvența de lucru.

4.5.2. Marcarea tranzistoarelor

Pentru marcarea semiconductoarelor discrete se folosesc mai multe sisteme de codificare.

Exemplu

- BC107 este un tranzistor de joasă frecvență, de mică putere, realizat din siliciu (cod european).
- BD135 este un tranzistor de joasă frecvență, de putere, realizat din siliciu.
- 2N 1487 este un tranzistor, dar fiind marcat în sistem american (2N) nu se poate specifica altceva despre el. Pentru alte informații trebuie căutat în catalog.

Fișă de lucru

Identifică tipul următoarelor dispozitive electronice:

BC 177 .....

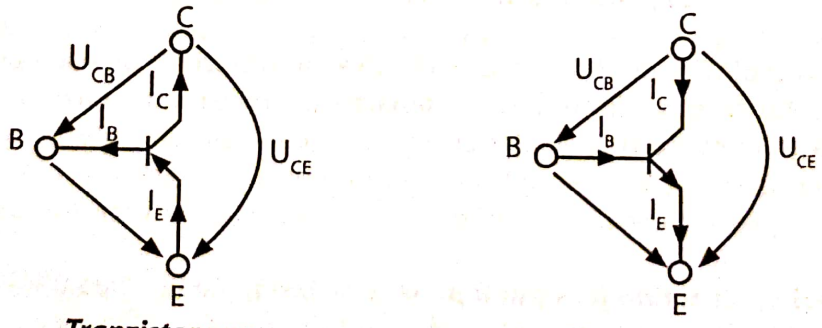
BD 142 .....

1N4001 .....

2N3055 .....

4.5.3. Conexiunile tranzistorului

Întrucât tranzistorul are trei borne, se pot defini trei curenți și trei tensiuni, deci, în total, șase mărimi electrice (fig. 4.7).



Tranzistor pnp ***Tranzistor npn***

Fig. 4.7. *Convenția de sens pentru curenți și tensiuni*

Observație *Sensurile săgeților corespund indicelui din notație. Este evident că, de exemplu,* $u_{CB} = -u_{BC}$.
Aceste mărimi sunt legate între ele prin legile lui Kirchhoff:

$u_{CB} = u_{CE} + u_{EB'}$ $\quad i_E = i_C + i_B$.

Ca urmare, numai două tensiuni și doi curenți sunt mărimi independente.

Scanned with OKEN Scanner

De reținut!
Alegerea mărimilor electrice care descriu comportarea tranzistorului se poate face în diferite moduri.

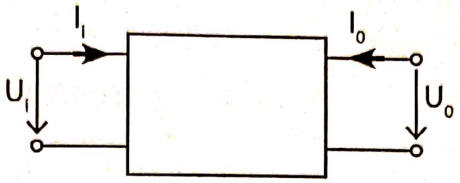


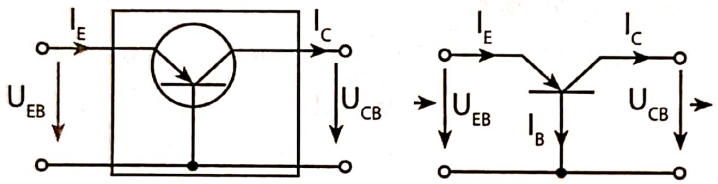
Fig. 4.8. *Reprezentarea tranzistorului ca un cuadripol*

Un criteriu este următorul:

Se consideră tranzistorul un bloc care are două borne de intrare și două borne de ieșire, ca în figura 4.8. Deoarece tranzistorul are numai trei borne, una dintre ele trebuie să fie comună intrării și ieșirii.

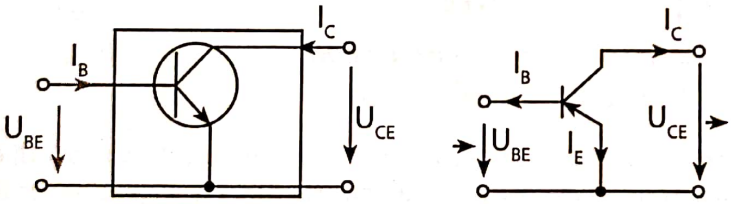
Borna comună definește *conexiunea tranzistorului* (fig. 4.9)**.**

Observație: Un astfel de bloc, cu două borne de intrare și două borne de ieșire se numește **diport** sau **cuadripol**.



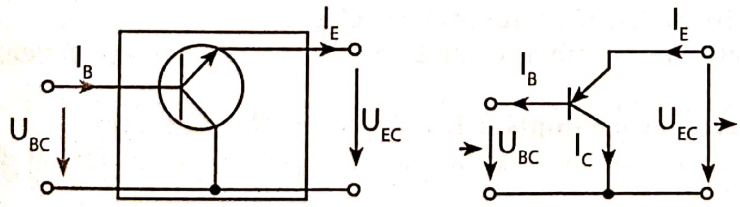
Schema de principiu pentru un tranzistor care are ***baza comună*** intrării și ieșirii. Pentru descrierea funcționării sale se folosesc:
- două mărimi de intrare: i_E și u_{EB}
- două mărimi de ieșire: i_C și u_{CB}

a) conexiunea bază comună



Schema de principiu pentru un tranzistor care are ***emitorul comun*** intrării și ieșirii. Pentru descrierea funcționării sale se folosesc:
- două mărimi de intrare: i_B și u_{BE}
- două mărimi de ieșire: i_C și u_{CE}

b) conexiunea emitor comun



Schema de principiu pentru un tranzistor care are ***colectorul comun*** intrării și ieșirii. Pentru descrierea funcționării sale se folosesc:
- două mărimi de intrare: i_B și u_{BC}
- două mărimi de ieșire: i_E și u_{EC}

c) conexiunea colector comun

Fig. 4.9. *Tipuri de conexiuni*

4.5.4. Principiul de funcționare al tranzistoarelor

În funcționare normală, **joncțiunea emitor-bază este polarizată direct,** iar **joncțiunea colector-bază este polarizată invers.**

♦ **Joncțiunea emitor-bază**, fiind polarizată direct, este parcursă de un *curent direct* (curent de difuzie) I_E, **mare** în raport cu curentul invers (rezidual) și, într-o plajă largă de curenți, $U_{EB} \approx$ **const,** cu valori tipice de 0,6 – 0,8 V (Si) sau 0,2 – 0,3 V (Ge).

Scanned with OKEN Scanner

♦ **Joncţiunea colector-bază**, fiind polarizată invers, este caracterizată de un curent propriu, invers, **foarte mic**, de ordinul nanoamperilor pentru tranzistoarele de siliciu şi de ordinul microamperilor pentru tranzistoarele de germaniu.

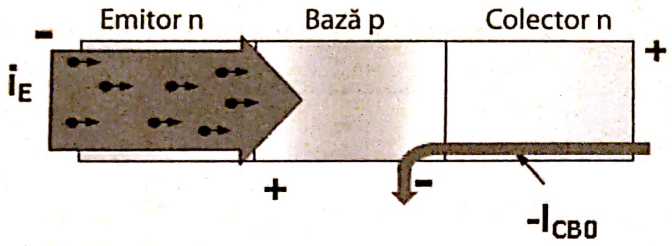


Fig. 4.10. Polarizarea joncţiunilor în regim activ normal

Caracteristică tranzistorului este **cuplarea electrică a celor două joncţiuni.** Pentru aceasta trebuie satisfăcute două **condiţii**:

♦ **Joncţiunea emitorului să fie puternic asimetrică,** adică **impurificarea emitorului să fie mult mai puternică decât cea a bazei.**

♦ **Baza să fie foarte subţire**, astfel încât fluxul de purtători majoritari din emitor să ajungă practic în totalitate în regiunea de trecere a colectorului.

Pentru a înţelege mai uşor funcţionarea tranzistorului, vom considera un tranzistor *npn*, în conexiunea bază comună.

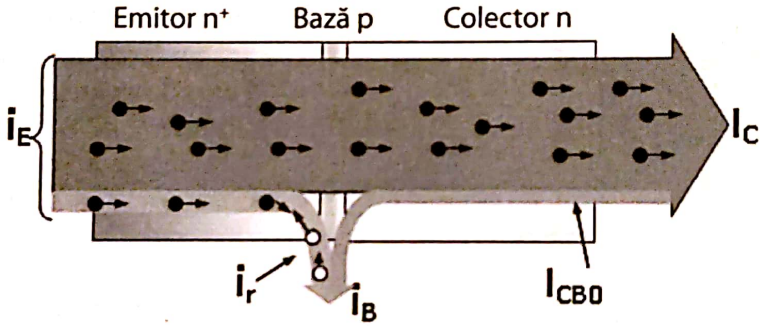


Fig. 4.11. Reprezentarea curenţilor printr-un tranzistor ***npn*** *funcţionând în regim activ normal*

Joncţiunea emitor–bază, fiind **polarizată direct**, este parcursă de un curent **determinat de purtătorii de sarcină majoritari**, în exemplul de mai sus, de **electroni**. Apare astfel un **curent de difuzie** a electronilor din emitor în bază.

***Întrucât baza este foarte subţire, cea mai mare parte a purtătorilor de sarcină care formează curentul de emitor reuşesc să o străbată şi să ajungă în colector, formând* curentul de colector.**

Un număr mic de electroni proveniţi din emitor se recombină cu golurile majoritare din bază şi formează **curentul de recombinare i_r**.

Este evident că **valoarea curentului de colector este apropiată de cea a curentului de emitor.**

Joncţiunea colectorului, polarizată invers, este străbătută şi de un curent propriu, de câmp, format din purtătorii generaţi pe cale termică, I_{CB0}.

De reţinut!

Dacă privim dispozitivul dinspre emitor, vedem o **joncţiune polarizată direct,** deci care prezintă o **rezistenţă foarte mică, de ordinul ohmilor, până la zeci de ohmi. Dacă privim dispozitivul dinspre colector, vedem o joncţiune polarizată invers,** deci o **rezistenţă foarte mare,** de ordinul megohmilor. Tranzistorul transferă curentul dintr-un circuit cu rezistenţă de intrare mică, într-un circuit cu rezistenţă de ieşire foarte mare.

De aici şi denumirea de tranzistor (**transfer rezistor** = rezistenţă de transfer).

Scanned with OKEN Scanner

4.5.5. Ecuațiile fundamentale ale tranzistorului

Pe baza figurii 4.11 se poate scrie:

$\mathbf{i_E = i_C + i_B}$

relație care este considerată **prima ecuație fundamentală a tranzistorului.**

O funcționare eficace a tranzistorului are loc atunci când curentul de colector este cât mai apropiat de cel de emitor, adică aproape toți electronii injectați de emitor ajung în colector.

Analizând curentul de colector putem scrie:

$\mathbf{i_C = \alpha\, i_E + I_{CBO}}$, unde:

α reprezintă fracțiunea din curentul de emitor care ajunge în colector și trebuie să fie cât mai apropiat de 1 (0,98 ... 0,99 sau chiar mai mult). α se numește **factor de amplificare în curent** în conexiunea bază comună.

Relația de mai sus reprezintă cea de-**a doua ecuație fundamentală a tranzistorului.**

Se observă că:

$\mathbf{I_{CBO} = i_C}$ când $\mathbf{i_E = 0}$, adică atunci când emitorul este în gol.

$\mathbf{I_{CBO}}$, fiind un curent invers, ia **valori foarte mici**, de ordinul microamperilor pentru tranzistoarele realizate din germaniu și de ordinul nanoamperilor pentru tranzistoarele realizate din siliciu.

În cazul în care dorim să controlăm curentul de colector prin intermediul curentului de bază, tranzistorul se montează în conexiunea „emitor comun", iar **a doua ecuație fundamentală** devine:

$$i_C = \alpha\, i_E + I_{CBO} \Rightarrow i_C = \alpha\,(i_C + i_B) + I_{CBO} \Rightarrow i_C - \alpha\, i_C = \alpha\, i_B + I_{CBO} \Rightarrow$$

$i_C(1 - \alpha) = \alpha\, i_B + I_{CBO}$, rezultă:

$$i_C = \frac{\alpha}{(1-\alpha)}\, i_B + \frac{I_{CBO}}{(1-\alpha)}$$

Pentru simplificare, notăm:

$\beta = \dfrac{\alpha}{(1-\alpha)}$, factor de amplificare în curent în conexiunea emitor comun

$I_{CEO} = \dfrac{I_{CBO}}{(1-\alpha)}$, curentul rezidual de colector, măsurat cu colectorul în gol.

Rezultă:

$\mathbf{i_C = \beta i_B + I_{CEO}}$

Pentru a aprecia ordinul de mărime al lui β și al lui I_{CEO} vom considera un tranzistor care are $\alpha = 0{,}99$ și $I_{CBO} = 10$ nA.

$$\beta = \frac{\alpha}{(1-\alpha)} = \frac{0{,}99}{1 - 0{,}99} = \frac{0{,}99}{0{,}01} = 99$$

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{(1-\alpha)} = \frac{10 \cdot 10^{-9}}{1 - 0{,}99} = \frac{10^{-8}}{10^{-2}} = 10^{-6}\text{A} = 1\,\mu\text{A}$$

Se observă că factorul de amplificare, β, este **mare, de ordinul zecilor sau al sutelor.**

De asemenea, curentul rezidual este mult mai mare ($\mathbf{I_{CEO} >> I_{CBO}}$), devenind important la tranzistoarele cu siliciu, la temperaturi înalte, iar la cele cu germaniu, chiar la temperatura camerei.

De reținut!

În concluzie, *funcționarea tranzistorului este guvernată de două ecuații fundamentale (ultimele două relații sunt echivalente):*

- $\mathbf{i_E = i_C + i_B}$ ***– prima ecuație fundamentală a tranzistorului.***
- $\mathbf{i_C = \alpha\, i_E + I_{CBO}}$ ***– a doua ecuație fundamentală a tranzistorului în conexiune bază comună.***
- $\mathbf{i_C = \beta\, i_B + I_{CEO}}$ ***– a doua ecuație fundamentală a tranzistorului în conexiune emitor comun.***

Scanned with OKEN Scanner

4.5.6. Caracteristici statice de funcţionare ale tranzistorului

Tipuri de caracteristici

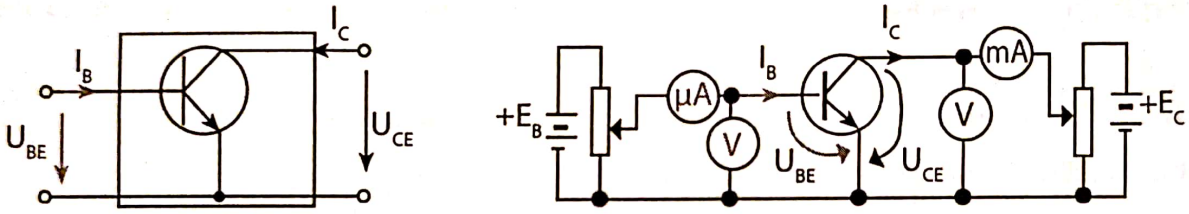
Dacă pentru a descrie dioda în curent continuu era suficientă caracteristica curent-tensiune, în cazul tranzistorului se folosesc trei tipuri de caracteristici:

- ♦ *Caracteristici de intrare:* reprezintă dependenţa dintre mărimile de intrare;
- ♦ *Caracteristici de transfer:* reprezintă dependenţa dintre o mărimile de ieşire şi o mărime de intrare;
- ♦ *Caracteristici de ieşire:* reprezintă dependenţa dintre mărimile de ieşire.

De reţinut!

Pentru fiecare dintre conexiunile tranzistorului corespund alte mărimi de intrare, respectiv de ieşire, deci caracteristicile vor fi diferite pentru fiecare tip de conexiune. Astfel, pentru un anumit tranzistor, va exista, de exemplu, caracteristica de intrare în conexiunea emitor comun, diferită de caracteristica de intrare în conexiunea colector comun.

În continuare vom considera un tranzistor de tip *npn*, în conexiune *emitor comun* (fig. 4.12.a). Montajul pentru trasarea caracteristicilor este prezentat în figura 4.12.b.



a) b)

Fig. 4.12. *Schema electronică pentru trasarea caracteristicilor statice*

Caracteristica de intrare

Caracteristica de intrare constă în reprezentarea grafică a variaţiei curentului de intrare, I_B, în funcţie de tensiunea de intrare, U_{BE} (fig. 4.13).

Privit dinspre intrare, tranzistorul în conexiune emitor comun se prezintă ca o joncţiune *pn* polarizată direct. Ca urmare, caracteristica de intrare este asemănătoare cu caracteristica exponenţială a unei diode. Astfel, curentul I_B devine semnificativ numai după ce tensiunea U_{BE} atinge valoarea tensiunii de prag de deschidere a joncţiunii BE. Odată atinsă această valoare, curentul creşte rapid, în timp ce tensiunea U_{BE} rămâne practic constantă.

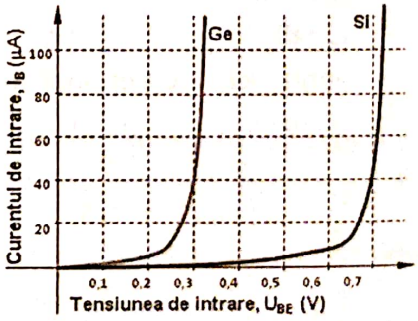


Fig. 4.13. *Caracteristica statică de intrare*

Caracteristici de transfer

Caracteristicile de transfer constau în reprezentarea grafică a variaţiei curentului de ieşire, I_C, în funcţie de tensiunea de intrare, U_{BE} (fig. 4.14.a) sau în funcţie de curentul de intrare, I_B (fig. 4.14.b).

Aspectul acestor caracteristici este justificat de cea de a doua ecuaţie fundamentală a tranzistorului: $I_C = \beta I_B + I_{CEO}$.

Caracteristica de transfer $i_C = i_C (u_{BE})$, pentru u_{CE} = constant (fig. 4.14.a) are aceeaşi alură ca şi caracteristica de intrare, respectiv, I_c creşte exponenţial cu tensiunea U_{BE}.

Caracteristica de transfer $i_C = i_C (i_B)$, pentru u_{CE} = constant (fig. 4.14.b) este aproximativ liniară.

Scanned with OKEN Scanner

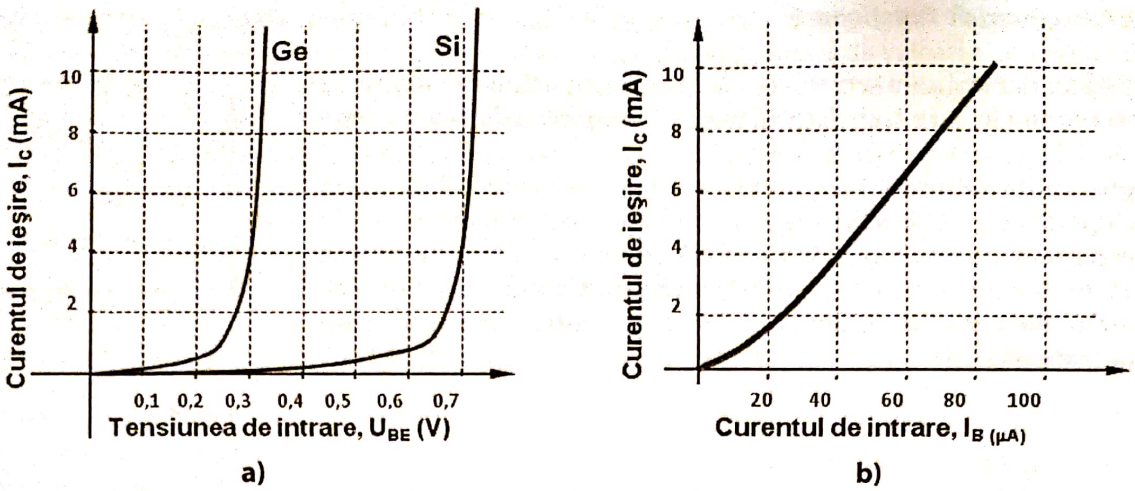


Fig. 4.14. *Caracteristici statice de transfer*

Caracteristici de ieşire

În figura 4.15 este prezentată familia caracteristicilor de ieşire $i_C = f(U_{CE})$,
pentru diferite valori ale curentului de intrare, I_B.
Se observă că, după o creştere rapidă, curentul de colector se stabileşte la o valoare aproximativ constantă.

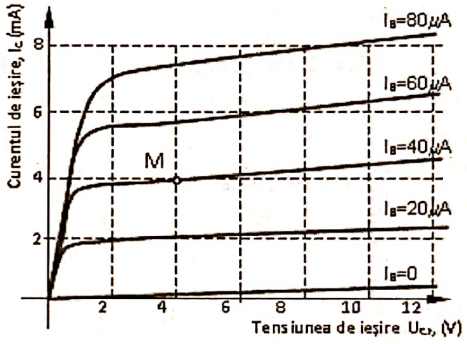


Fig. 4.15. *Caracteristici statice de ieşire*

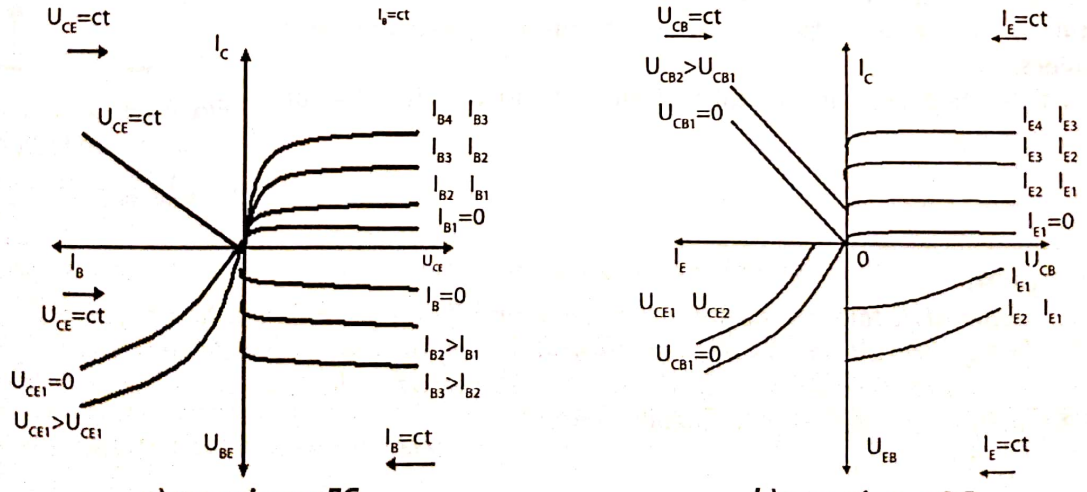
Fişă de lucru

Studiu de caz

În figurile 4.16.a şi 4.16.b sunt reprezentate caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar în conexiunea emitor-comun respectiv bază comună.

a. Analizează aspectul caracteristicilor şi identifică tipurile de caracteristici.

b. Compară comportarea tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun, respectiv bază comună.



a) conexiunea EC ***b) conexiunea BC***

Fig. 4.16. *Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar*

Scanned with OKEN Scanner

4.5.7. Regimuri de funcţionare

Analizând graficul care reprezintă familia caracteristicilor de ieşire, se disting **trei regiuni în care tranzistorul prezintă regimuri de funcţionare diferite:**

- **Regiunea de saturaţie** corespunde zonei în care curentul de ieşire, I_C, creşte rapid până la valoarea sa maximă. Această zonă corespunde unei tensiuni de ieşire, U_{CE}, de valoare foarte mică. În această situaţie spunem că tranzistorul este în **regim de saturaţie** sau că este saturat. **Regimul de saturaţie** se obţine atunci când **ambele joncţiuni sunt polarizate direct.**

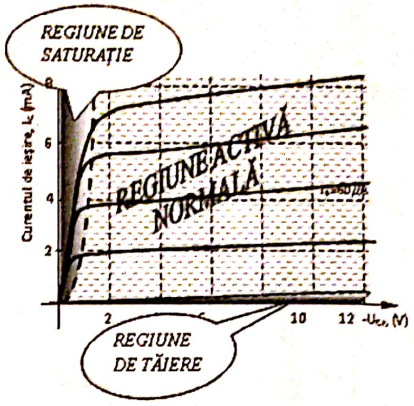


Fig. 4.17. *Reprezentarea regiunilor de funcţionare în planul caracteristicilor de ieşire*

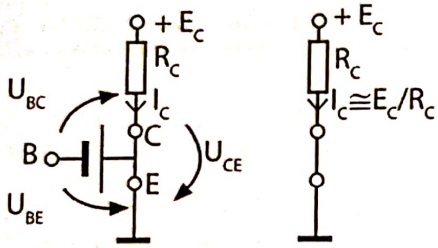


Fig. 4.18. *Circuitul echivalent al unui tranzistor saturat*

În figura 4.18 este prezentat circuitul echivalent al unui tranzistor saturat.

$$U_{CE} = U_{BC} - U_{BE} \cong 0$$
$$I_C \cong E_C / R_C$$

De reţinut!

Regimul de saturaţie se obţine atunci când ***ambele joncţiuni sunt polarizate direct.***

În regim de saturaţie, tranzistorul se comportă ca un comutator închis.

Tensiunea de ieşire este aproximativ nulă, iar intensitatea curentului prin tranzistor este independent de acesta, fiind determinată numai de circuitul exterior (E_c şi R_c):

$$U_{CE} = U_{BC} - U_{BE} \cong 0$$
$$I_C \cong E_C / R_C$$

- **Regiunea de tăiere** sau **de blocare** corespunde zonei în care curentul de ieşire, I_C, ia valori foarte mici, apropiate de zero. Tensiunea de ieşire, U_{CE}, poate lua valori mari. Această zonă este situată sub curba care corespunde lui $I_B = 0$. În această situaţie spunem că tranzistorul este în **regim de tăiere** sau că este blocat.

Regimul de tăiere se obţine atunci când **ambele joncţiuni sunt polarizate invers.**

În figura 4.19 este prezentat circuitul echivalent al unui tranzistor blocat.

$$U_{CE} \cong E_C$$
$$I_C \cong 0$$

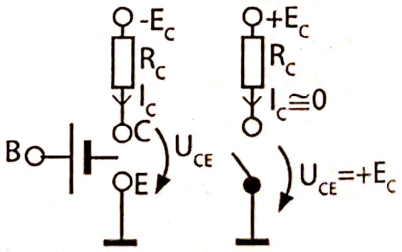


Fig. 4.19. *Circuitul echivalent al unui tranzistor blocat*

De reţinut!

Regimul de tăiere se obţine atunci când ***ambele joncţiuni sunt polarizate invers.***

În regim de blocare (tăiere), ***tranzistorul se comportă ca un comutator deschis.***

Tensiunea de ieşire este egală cu tensiunea sursei de alimentare, iar intensitatea curentului prin tranzistor este aproximativ egală cu zero.

$$U_{CE} \cong E_C$$
$$I_C \cong 0$$

Scanned with OKEN Scanner

- **Regiunea activă normală** corespunde zonei delimitate de celelalte două regiuni. În această zonă, curentul de ieşire, I_c, se menţine la o valoare aproximativ constantă, determinată da valoarea curentului de intrare, I_B. În această situaţie spunem că tranzistorul funcţionează în **regim activ normal**. În acest regim de funcţionare, **tranzistorul se comportă ca amplificator.**

Pentru exemplificare, să considerăm raportul între curentul de ieşire, I_C, şi cel de intrare, I_B, într-un punct, M, oarecare de pe caracteristică. Se obţine:

$$\frac{I_C}{I_B} = \frac{4mA}{40\mu A} = \frac{4 \cdot 10^{-3} A}{40 \cdot 10^{-6} A} = 100$$, valoare mult mai mare decât 1.

Raportul de mai sus se numeşte factor de amplificare în curent continuu şi se notează cu h_{ef}. El este aproximativ egal cu β.

De reţinut!

Regimul activ normal *se obţine atunci când* ***joncţiunea emitorului este polarizată direct, iar joncţiunea colectorului este polarizată invers.***

În acest regim de funcţionare, ***tranzistorul se comportă ca amplificator.***

Există şi posibilitatea funcţionării tranzistorului bipolar şi în cazul în care *joncţiunea emitor – bază este polarizată invers*, în timp ce *joncţiunea colector bază este polarizată direc*t. Acest regim de funcţionare se numeşte **regim activ invers** şi este foarte rar folosit, deoarece, deşi structural tranzistorul bipolar este simetric, tehnologic el nu este simetric – emitorul este mult mai puternic impurificat în timp ce aria joncţiunii colectorului este mai mare pentru a se asigura o disipaţie de putere mai eficientă – ceea ce face ca amplificarea în regim activ invers să fie mai mică.

În tabelul 4.1 sunt prezentate regimurile de funcţionare ale tranzistorului.

Tabelul 4.1

Regimul de funcţionare	Polarizarerea joncţiunii emitor-bază	Polarizarerea joncţiunii colector-bază	Comportarea tranzistorului	I_C	U_{CE}
Regim de saturaţie	direct	direct	comutator închis	E_c/R_c	0
Regim de blocare	invers	invers	comutator deschis	0	E_c
Regim activ normal	direct	invers	amplificator	mare	mare
Regim activ invers	invers	direct	amplificator (performanţe mai slabe)	mare	mare

Fişă de lucru

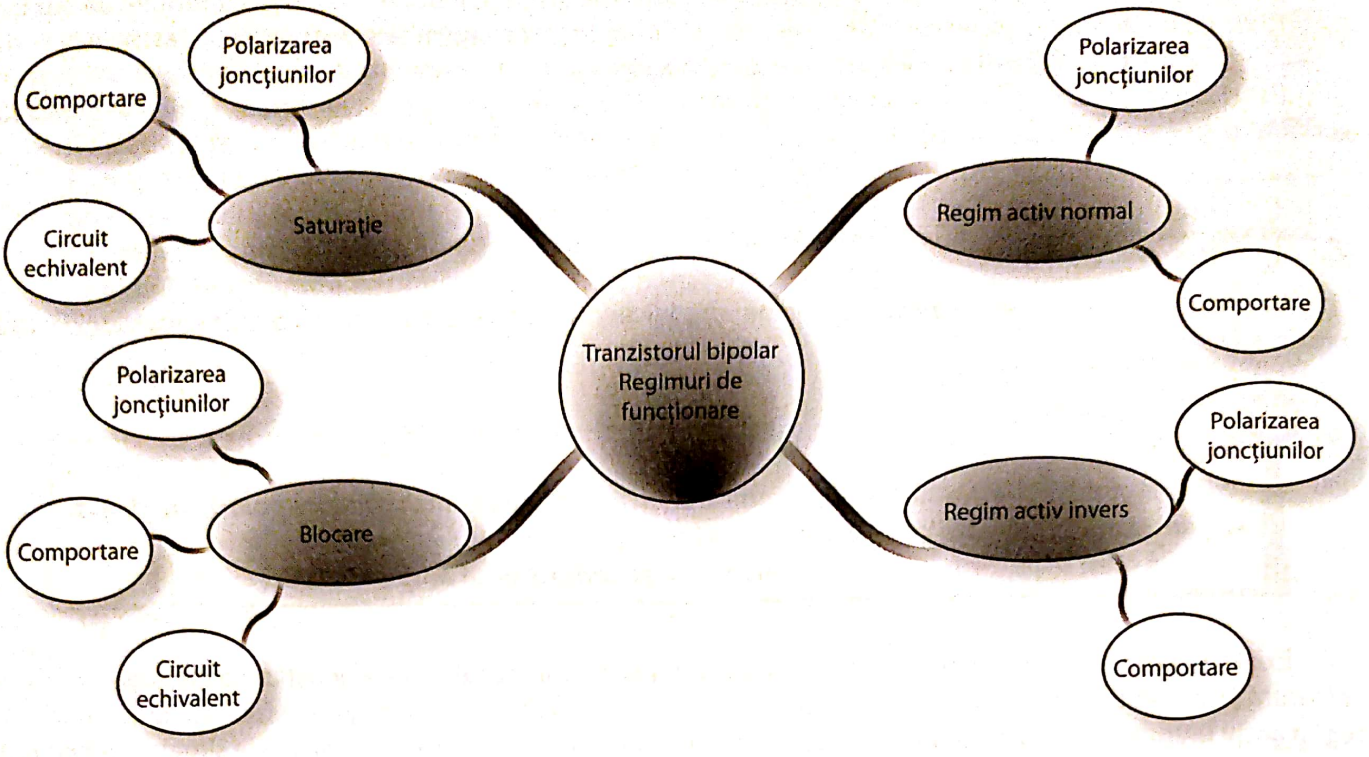
Tranzistoare bipolare. Regimuri de funcţionare. Diagrama păianjen

Activitatea se va desfăşura cu patru echipe de lucru.

Fiecare echipă va trage la sorţi un regim de funcţionare al tranzistorului bipolar şi va primi o bulină pe care va fi inscripţionat numele regimului şi trei buline în care se vor completa informaţiile solicitate.

După terminarea sarcinilor de lucru, câte un reprezentant al fiecărei echipe va veni la tablă/flipchart şi va lipi bulinele completate, ca în figura următoare.

Scanned with OKEN Scanner



4.5.8. Parametri specifici tranzistoarelor. Valori-limită de utilizare

Pentru a se asigura funcționarea corectă a unui tranzistor trebuie cunoscute valorile unor parametri, a căror depășire poate duce chiar la distrugerea dispozitivului. Aceşti parametri sunt specificați în foile de catalog şi trebuie avuți în vedere la proiectarea circuitelor electronice.

Cei mai importanți parametri ai unui tranzistor sunt:

- temperatura maximă a joncțiunilor;
- puterea disipată maximă;
- curentul de colector maxim;
- tensiunea maximă.

Temperatura maximă a joncțiunilor

Valoarea temperaturii maxime a joncțiunilor până la care tranzistorul funcționează normal depinde de natura semiconductorului folosit.

De reținut!

Tranzistoarele realizate din siliciu funcționează corect până spre 200 °C, în timp ce cele realizate din germaniu sunt limitate în funcționare în jurul valorii de 100 °C.

La temperaturi mai mari decât cele menționate, are loc creşterea extraordinar de rapidă a concentrației purtătorilor minoritari şi semiconductorul se apropie de unul intrinsec, dispozitivul pierzându-şi proprietățile inițiale.

În stadiul actual de dezvoltare al electronicii, materialul de bază este siliciul, care este mai puțin afectat de temperatură. Acesta permite obținerea de tranzistoare într-o gamă largă de puteri şi frecvențe. De asemenea, constituie elementul principal al circuitelor integrate.

Puterea disipată maximă

Puterea disipată de tranzistor apare datorită trecerii curentului prin dispozitiv. O parte din această putere este radiată în mediul ambiant şi o parte produce încălzirea tranzistorului.

Puterea disipată de un tranzistor este, în principal, puterea disipată în cele două joncțiuni ale acestuia:

$P_{DT} = P_{DE} + P_{DC} = U_{EB} \times I_E + U_{CB} \times I_C$.

Scanned with OKEN Scanner

În regim activ normal, $I_E \cong I_C$ şi $U_{EB} << U_{CB}$.

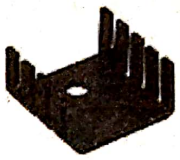
În aceste condiţii, $P_{DE} << P_{DC}$ şi

$P_{DT} \cong P_{DC} = U_{CB} \cdot I_C \cong U_{CE} \times I_C$.

Graficul puterii disipate maxime în planul caracteristicilor de ieşire are forma unei hiperbole, numită şi *hiperbolă de disipaţie* (fig. 4.20).

De reţinut!

Puterea disipată maximă este determinată de condiţia ca temperatura joncţiunii colectorului să nu depăşească temperatura joncţiunii maxim admisă. Ea poate fi mărită prin scăderea temperaturii mediului ambiant, asigurând o ventilaţie corespunzătoare, şi prin mărirea suprafeţei de radiaţie a căldurii, folosind radiatoare speciale.



Curentul de colector maxim

Reprezintă valoarea maximă pe care o poate atinge curentul de colector al unui tranzistor fără ca acesta să se distrugă. El este indicat în cataloage şi depinde de particularităţile tehnologice ale tranzistorului.

Tensiunea maximă admisă

Reprezintă valoarea cea mai mare a tensiunii pe care o poate suporta un tranzistor fără ca acesta să se deterioreze. Această valoare este limitată de tensiunea de străpungere a joncţiunii colector bază (polarizată invers).

Acest parametru are valori diferite, în funcţie de conexiunea tranzistorului, şi este prezentat în foile de catalog pentru fiecare situaţie în parte.

Observaţie: În planul caracteristicilor de ieşire se poate delimita aria de funcţionare a unui tranzistor, ca în figura 4.20.

Aria este limitată:

- la stânga de intrarea tranzistorului în saturaţie;
- superior de valoarea curentului de colector maxim;
- la dreapta de puterea disipată maximă;
- inferior de intrarea tranzistorului în tăiere.

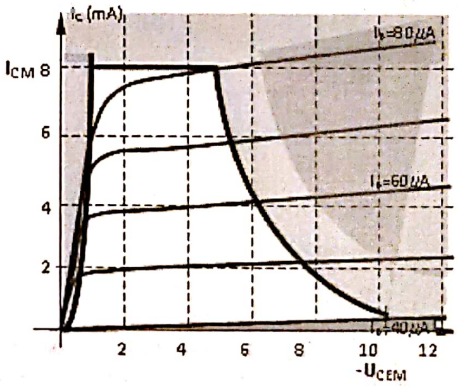


Fig. 4.20. *Zona de funcţionare permisă a tranzistorului bipolar*

Exemplu

Tabelul 4.2 ilustrează principalii parametri ai unor tranzistoare.

Tabelul 4.2

Cod	Structura	Carcasa	$I_{C\,max}$	$U_{CE\,max}$	$h_{FE\,min}$	$P_{tot\,max}$	Utilizări tipice
BC107	npn	TO18	100 mA	45 V	110	300 mW	audio, putere mică
BD438	npn	TO126	7 A	45 V	30	36 W	uz general, putere medie
BFY51	npn	TO39	1 A	30 V	40	800 mW	uz general, putere medie
BC639	npn	TO92A	1 A	80 V	40	800 mW	uz general, putere medie
2N3055	npn	TO3	15 A	60 V	20	117 W	uz general, putere mare
BC177	pnp	TO18	100 mA	45 V	125	300 mW	audio, putere mică
BC178	pnp	TO18	200 mA	25 V	120	600 mW	uz general, putere mică

Scanned with OKEN Scanner

4.5.9. Influența temperaturii asupra caracteristicilor electronice

Odată cu variația temperaturii, unele mărimi caracteristice ale tranzistorului variază și ele. Astfel:

- ↘ U_{BE} scade cu temperatura cu o rată de 2 – 2,4 mV/°C;
- ↗ I_{CB0} crește după o lege exponențială, dublându-se la fiecare 10 °C pentru tranzistoarele realizate din siliciu și la fiecare 6 °C pentru cele realizate din germaniu;
- ↗ β crește cu temperatura.

Ambalarea termică

După cum s-a arătat deja în paragrafele anterioare, creșterea temperaturii semiconductorului determină creșterea curentului de colector.

În același timp, creșterea curentului de colector duce la creșterea temperaturii joncțiunilor prin efect Joule–Lentz.

Această înlănțuire a fenomenelor poate duce la creșterea temperaturii dincolo de limita admisă și poartă numele de *ambalare termică*. Ambalarea termică conduce la distrugerea tranzistorului și, de aceea, în timpul proiectării circuitelor cu tranzistoare, trebuie avută în vederea evitarea încălzirii excesive a dispozitivelor.

Fișă de lucru

Utilizează foile de catalog pentru a completa tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Cod	Structura	Carcasa	$I_{C\,max}$	$U_{CE\,max}$	$h_{FE\,min}$	$P_{tot\,max}$	Utilizări tipice
BC109							
BC108C							
2N3053							
BC179							
BU207							
BD440							

4.5.10. Polarizarea tranzistorului în regiunea activă normală

Pentru ca un tranzistor să poată funcționa ca amplificator, el trebuie polarizat în curent continuu, astfel încât să se asigure polarizarea corectă a celor două joncțiuni (tranzistorul să se găsească în RAN).

Acest lucru se realizează prin proiectarea adecvată a circuitului exterior tranzistorului.

În regiunea activă normală, tranzistorul este caracterizat de:

- $U_{BE} \cong$ constant;
- β, factorul de amplificare în curent;
- I_{CBO}.

Acești parametri sunt specificați în foile de catalog.

În figura 4.21 este prezentat cel mai simplu circuit de polarizare a unui tranzistor. Schema cuprinde două surse de alimentare, care asigură polarizarea celor două joncțiuni.

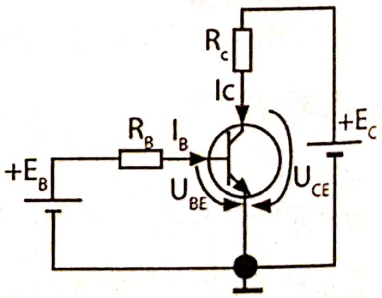


Fig. 4.21. *Circuit de polarizare a tranzistorului cu două surse de alimentare*

Aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de intrare, se obține:

$$E_B = R_B \times I_B + U_{BE}$$

Aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de ieșire, se obține:

$$E_C = R_C \times I_C + U_{CE}$$

Cea de a doua ecuație fundamentală a tranzistorului, în conexiunea emitor comun ne va furniza cea de a treia relație:

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} = \beta I_B + \frac{I_{CBO}}{1-\alpha} = \beta I_B + (\beta+1) I_{CBO}$$

Valoarea lui I_B se calculează din prima relație:

Scanned with OKEN Scanner

$$I_B = \frac{E_B - U_{BE}}{R_B} \cong \text{constant}$$

Această valoare se va înlocui în cea de a treia relație pentru a obține valoarea lui I_C, apoi, din relația a doua, se va determina U_{CE}.

Valorile astfel determinate, I_C, și, respectiv, U_{CE}, determină pe graficul caracteristicilor de ieșire un punct, numit **punct static de funcționare** și care **caracterizează starea tranzistorului în curent continuu.**

Relația $\mathbf{U_{CE} = - R_C \cdot I_C}$ se poate reprezenta grafic și ea în planul caracteristicilor de ieșire, printr-o dreaptă numită **dreaptă de sarcină.**

Determinarea punctului static de funcționare se poate aborda și *pe cale grafică, dacă se dispune de graficul caracteristicilor de ieșire, ca în figura 4.22.*

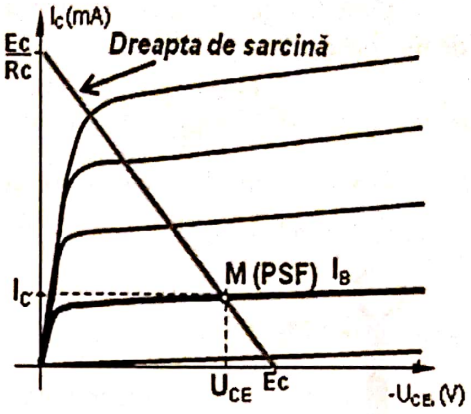


Fig. 4.22. *Reprezentarea punctului static de funcționare pe dreapta de sarcină*

- Se determină valoarea curentului de intrare, I_B, aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de intrare, ca în cazul de mai sus.
- Se construiește dreapta de sarcină în planul caracteristicilor de ieșire.
- Punctul static de funcționare se va afla la intersecția dreptei de sarcină cu curba caracteristicii de ieșire determinată de curentul I_B determinat de circuit.

Deci, punctul static de funcționare va fi punctul M, de coordonate I_C și U_{CE} pentru o valoare constantă a curentului de bază I_B.

Ducând paralele la cele două axe de coordonate prin punctul static de funcționare, se obțin valorile curentului de ieșire, I_C, și, respectiv, a tensiunii de ieșire, U_{CE}.

De reținut!

Dispersia parametrilor tranzistorului de la un exemplar la altul face să nu se poată pune bază pe caracteristicile prezentate în catalog, acestea fiind considerate tipice. În realitate β variază de la un exemplar la altul, iar I_{CBO} variază puternic cu temperatura. În circuitul de polarizare prezentat anterior, curentul de ieșire, I_C, depinde atât de β, cât și de temperatură, prin intermediul lui I_{CBO}. De aceea, este necesar să se utilizeze tehnici de stabilizare a punctului static de funcționare.

Circuit de polarizare care asigură stabilizarea PSF

În figura 4.23 este prezentat un circuit de polarizare a tranzistorului, în care este asigurată stabilizarea punctului static de funcționare, atât cu dispersia lui β, cât și cu temperatura.

Pentru simplificare, vom presupune pentru început $I_{CBO} = 0$.

În acest caz,

$I_C \cong \beta I_B$ și

$I_E = I_C + I_B \cong (\beta + 1) I_B$

Aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de intrare, se obține:

$E_B = R_B \times I_B + U_{BE} + R_E I_E$

$E_B = R_B \times I_B + U_{BE} + R_E (\beta + 1) I_B$

$E_B = U_{BE} + I_B [R_B + (\beta + 1) R_E]$

Rezultă:

$$I_B = \frac{E_B - U_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

$$I_C \cong \beta I_B = \frac{\beta (E_B - U_{BE})}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

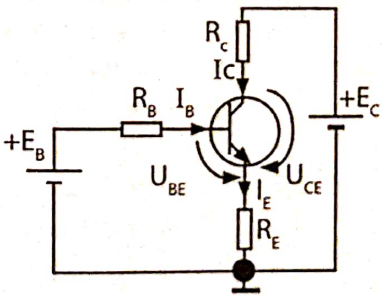


Fig. 4.23. *Circuit de polarizare cu stabilizarea punctului static de funcționare*

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se alege $R_B << (\beta + 1) R_E$, atunci R_B se poate neglija faţă de $(\beta + 1) R_E$.
În această situaţie:

$$I_C \cong \beta I_B = \frac{\beta(E_B - U_{BE})}{(\beta+1)R_E}$$

Cum β este de ordinul zecilor sau al sutelor, atunci $\beta >> 1$ şi se poate neglija 1 în expresia $\beta + 1$, iar relaţia de mai sus devine:

$$I_C \cong \beta I_B = \frac{\beta(E_B - U_{BE})}{\beta R_E} = \frac{(E_B - U_{BE})}{R_E}$$ independent de β.

În aceste condiţii, $I_E \cong I_C$ şi, aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de ieşire, se obţine:
$E_C = R_C \times I_C + U_{CE} + I_E R_E \cong (R_C + R_E) I_C + U_{CE} \Rightarrow U_{CE} \cong E_C - (R_C + R_E) I_C$, de asemenea *independent de* β.

De reţinut!

În concluzie, în circuitul prezentat mai sus, alegând orice tranzistor, cu condiţia ca $\beta >> 1$, punctul static de funcţionare va fi acelaşi, şi anume determinat numai de elementele de circuit din schemă.

Ideal $R_B = 0$, dar această situaţie nu convine în practică, deoarece, în aceste condiţii, E_B ar scurtcircuita semnalul activ aplicat pe bază.

În ceea ce priveşte dependenţa de temperatură, se poate demonstra, aplicând aceeaşi metodă ca mai sus şi considerând $I_C = \beta \cdot I_B + I_{CEO}$ că se ajunge la aceeaşi condiţie impusă circuitului, şi anume: $R_B << (\beta + 1) R_E$.

De fapt, rezistenţa R_E din emitorul tranzistorului introduce o reacţie negativă, al cărei efect este uşor de înţeles. O tendinţă de mărire a curentului de colector I_C, datorată fie creşterii factorului β, fie creşterii temperaturii, sau ambelor, conduce automat la creşterea curentului de emitor I_E. Aceasta va determina creşterea căderii de tensiune pe rezistenţa R_E, $U_E = R_E \times I_E$.

Aplicând a doua lege a lui Kirchhoff pe ochiul bază-emitor şi ţinând cont de condiţia impusă rezistenţei din bază, creşterea căderii de tensiune între emitor şi masă va avea ca efect scăderea tensiunii U_{BE}, ceea ce va determina scăderea curentului de bază şi, implicit, a celui de colector. În acest fel, existenţa rezistenţei R_E are ca efect menţinerea constantă a lui I_C în condiţiile variaţiei temperaturii sau a lui β.

Observaţie *Prezenţa rezistenţei R_E în emitor conduce la un consum suplimentar de putere. Pentru a se evita consumul de putere de semnal, în paralel cu rezistenţa R_E se montează un condensator, numit condensator de decuplare, de valoare suficient de mare pentru a se comporta ca un scurtcircuit în curent alternativ.*

Circuit de polarizare cu o singură sursă de alimentare

În schemele practice nu este util să se utilizeze două surse de alimentare, de aceea se utilizează scheme în care se foloseşte o singură sursă de alimentare, care asigură polarizarea ambelor joncţiuni.

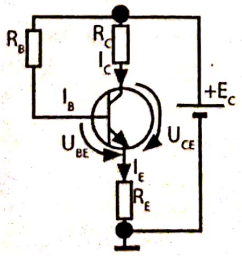


Fig. 4.24. *Circuit de polarizare cu rezistenţă în bază şi emitor*

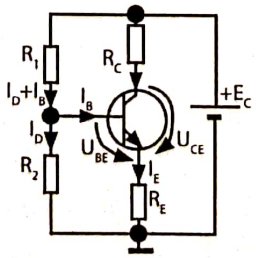


Fig. 4.25. *Circuit de polarizare cu divizor rezistiv în bază*

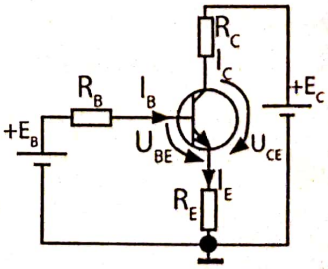


Fig. 4.26. *Circuitul echivalent corespunzător polarizării cu divizor rezistiv în bază*

Un exemplu de astfel de schemă este prezentat în figura 4.24.

Scanned with OKEN Scanner

Această schemă are dezavantajul că, pentru a se asigura funcționarea tranzistorului în regiunea activă normală, este necesară o rezistență, R_B, de valoare mare în bază, ceea ce nu mai îndeplinește condiția de stabilizare a punctului static de funcționare determinată în paragraful precedent. O soluție mai bună, de altfel și cea mai utilizată în schemele practice, este cea prezentată în figura 4.25. În această schemă, polarizarea bazei se asigură prin divizorul de tensiune $R_1 - R_2$.

În felul acesta, tensiunea de polarizare a bazei este: $E_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_C$.

Pentru calculele de circuit, se pot aplica legile lui Kirchhoff și divizorul se poate înlocui cu un circuit echivalent, ca în figura 4.26.

Rezistența echivalentă în bază are valoarea:

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Rezistențele R_1 și R_2 pot fi alese astfel încât să se obțină atât polarizarea corectă a bazei, cât și îndeplinirea condiției de stabilizare a punctului static de funcționare.

De reținut!

Rolul elementelor de circuit dintr-un montaj cu tranzistor este:

- R_B (sau divizorul $R_1 - R_2$) are rolul de a asigura polarizarea corectă a bazei tranzistorului astfel încât acesta să funcționeze în regiunea activă normală.
- R_E este rezistență de reacție și asigură stabilizarea punctului static de funcționare în raport cu dispersia lui β și cu variația temperaturii.
- R_C asigură polarizarea corectă a colectorului și, totodată, reprezintă rezistența de sarcină a etajului, fiind parcursă de curentul de ieșire.

Polarizarea tranzistoarelor pnp

În cazul utilizării tranzistoarelor de tip *pnp*, pentru a le asigura funcționarea corectă, se vor aplica tensiuni de polaritate opusă și se vor obține curenți de sens opus, ca în figura 4.27.

Ținând cont de sensul normal pozitiv al curenților și al tensiunilor, toate considerentele legate de tranzistorul *npn* sunt valabile și pentru cel de tip *pnp*.

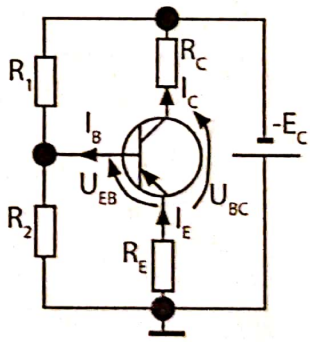


Fig. 4.27

Exemplu

Determină punctul static de funcționare pentru tranzistorul din schema din figura alăturată.

Se cunosc:

$U_{BE} = 0{,}6\ V$, $\beta = 50$,

$I_{CBO} = 0$,

$E_C = +16\ V$,

$R_B = 7{,}5\ k\Omega$,

$R_C = 1\ k\Omega$, $E_B = 2\ V$.

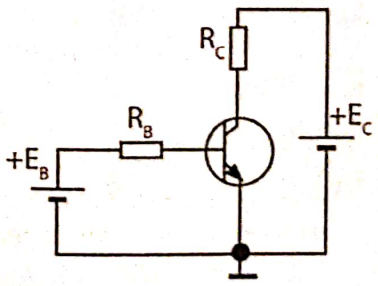


Fig. 4.28

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvare: *Pentru rezolvarea problemelor de acest tip se poate urma algoritmul următor:*

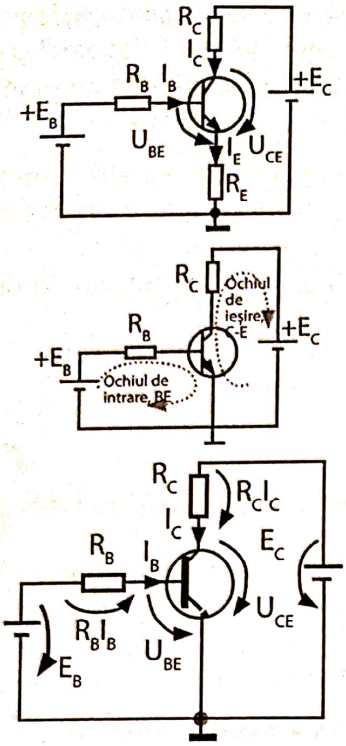


Fig. 4.29

1. Reprezintă, pe schemă, curenții și tensiunile.

2. Aplică legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul bază–emitor și determinați curentul I_B;

3. Aplică ecuațiile fundamentale ale tranzistorului și determină curenții I_C și I_E;

4. Aplică legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul emitor-colector și determină tensiunea U_{CE}.

Aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de intrare, se obține:

$$E_B = R_B \times I_B + U_{BE}$$

$$I_B \cong I_C/\beta$$

$$E_B - U_{BE} = R_B \times I_C/\beta \Rightarrow I_C \cong 9{,}3\ mA$$

Aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul de ieșire, se obține:

$$E_C = R_C \times I_C + U_{CE} \Rightarrow U_{CE} = E_C - R_C \times I_C \cong 6{,}7\ V$$

Deci, PS F este caracterizat de coordonatele: $I_C = 9{,}3\ mA$, $U_{CE} = 6{,}7\ V$ și $I_B = 0{,}186\ mA$

4.5.11. Verificarea tranzistoarelor

Tranzistoarele se pot verifica cu ajutorul unui multimetru, în același mod cum s-a explicat în capitolul dedicat diodelor.

Pentru testare, tranzistorul poate fi asimilat cu două diode, conectate ca în figura alăturată.

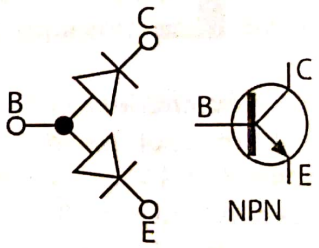


Fig. 4.30

Se verifică valoarea rezistenței pentru fiecare pereche de terminale:

- pentru un tranzistor *npn*:
  - se aplică plusul aparatului pe un terminal și minusul pe fiecare din celelalte două;
  - dacă multimetrul indică o valoare mică a rezistenței în ambele situații, terminalul pe care s-a aplicat plusul este baza;
  - montat între celelalte două terminale, multimetrul va indica o rezistență de valoare foarte mare.

Dacă multimetrul indică o rezistență foarte mică în orice variantă de montare, tranzistorul este în scurtcircuit.

Dacă multimetrul indică o rezistență foarte mare în orice variantă de montare, tranzistorul este întrerupt.

Pentru un tranzistor *pnp* verificarea este similară, dar se va aplica minusul multimetrului pe bază.

Observație *1. Unele multimetre digitale sunt prevăzute cu borne speciale pentru tranzistoare. Acestea indică valoarea factorului de amplificare în curent continuu, h_{ef}.*

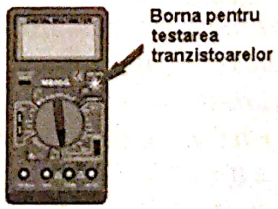


Fig. 4.31

*2. Metoda descrisă mai sus permite și determinarea tipului tranzistorului, **npn**, respectiv **pnp**. Dacă unul dintre terminale prezintă rezistență mică față de celelalte două când i se aplică plusul multimetrului, atunci tranzistorul este de tip **npn**. Dacă unul dintre terminale prezintă rezistență mică față de celelalte două când i se aplică minusul multimetrului, atunci tranzistorul este de tip **pnp**.*

3. Circuitul pentru testare prezentat în capitolul despre diode poate fi utilizat și pentru verificarea tranzistoarelor.

Scanned with OKEN Scanner

Fișă de lucru

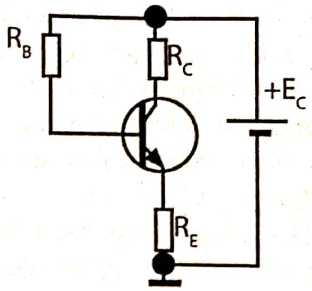


Fig. 4.32

1. Determină punctul static de funcționare pentru tranzistorul din figura 4.32.
Se cunosc:
$U_{BE} = 0{,}6\ V$
$\beta = 100$
$I_{CBO} = 0$
$E_C = +16\ V$, $E_B = 4\ V$
$R_B = 7{,}5\ k\Omega$, $R_C = 4{,}7\ k\Omega$, $R_E = 2\ k\Omega$

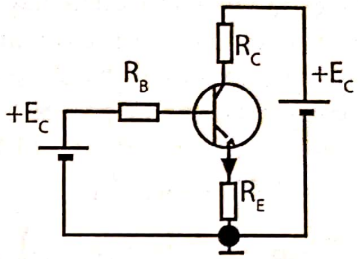


Fig. 4.33

2. Determină punctul static de funcționare pentru tranzistorul din figura 4.33.

Se cunosc:
$U_{BE} = 0{,}6\ V$
$\alpha = 0{,}990$
$I_{CBO} = 0$
$Ec = +10\ V$
$R_B = 470\ k\Omega$, $R_C = 2\ k\Omega$, $R_E = 2\ k\Omega$

3. Compară și analizează rezultatele.

Știați că ...?

Plantarea componentelor SMD

Mașini automate sau semiautomate realizează preluarea componentelor de pe ambalajul lor și plantarea pe circuitul imprimat cu ajutorul unor capete de plantare. În linii mari, acestea sunt pensete cu vid, care „sorb" componenta și o plantează în locul descris cu exactitate de programul mașinii.

Capacitatea de plantare, direct dependentă de configurarea unității de plantare, variază de la câteva sute la zeci de mii de componente pe oră.

*Plantarea componentelor **SMD** se poare realiza și manual, dar se impun utilizarea unor dispozitive speciale, cu vacuum, cum este cel din figura 4.34, care culeg componenta și permit așezarea acesteia pe amprentele circuitului imprimat.*

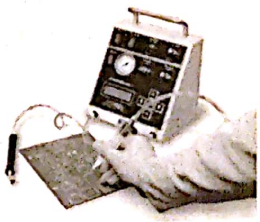


Fig. 4.34

În situația în care este necesară înlocuirea unei componente SMD, în lipsa unor echipamente specializate, se poate recurge la metodele clasice de înlocuire a componentelor, dar se impun o serie de măsuri speciale.

În primul rând, locul de muncă trebuie să fie foarte bine luminat și este necesară folosirea unei lupe. Ciocanul de lipit trebuie să fie de putere mică (15 W) și să aibă vârful foarte bine ascuțit. Se topește aliajul de lipit pe un terminal și se ridică ușor cu o pensetă cu vârful ascuțit (o pensetă dentară este foarte indicată), apoi se topește aliajul de lipit la celălalt terminal și se scoate componenta de pe cablaj. Se curăță circuitul imprimat cu solvenți speciali, după care se înlocuiește componenta.

Pentru astfel de operații este foarte util ciocanul de lipit din figura 4.35, care permite topirea aliajului de lipit la ambele terminale în același timp.

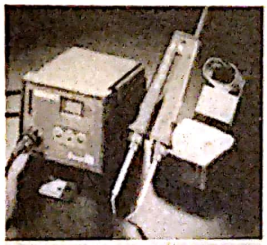


Fig. 4.35

De asemenea, există substanțe speciale care se depun cu ajutorul unui aplicator, sau al unei seringi, peste componenta SMD, și care permit topirea concomitentă a aliajului de lipit la toate terminalele logice de tip TTL, la Microelectronica, sub codul CDB4XX.

Scanned with OKEN Scanner

4.5.12. Funcţionarea tranzistorului în curent alternativ

În aplicaţiile practice, cel mai des întâlnit este cazul funcţionării tranzistorului în regiunea activă normală, în regim dinamic, cu un semnal sinusoidal aplicat la intrare.

În figura 4.36.a este prezentată o schemă practică cu tranzistor în conexiunea emitor comun. Schema de polarizare este cea prezentată în figura 4.25.

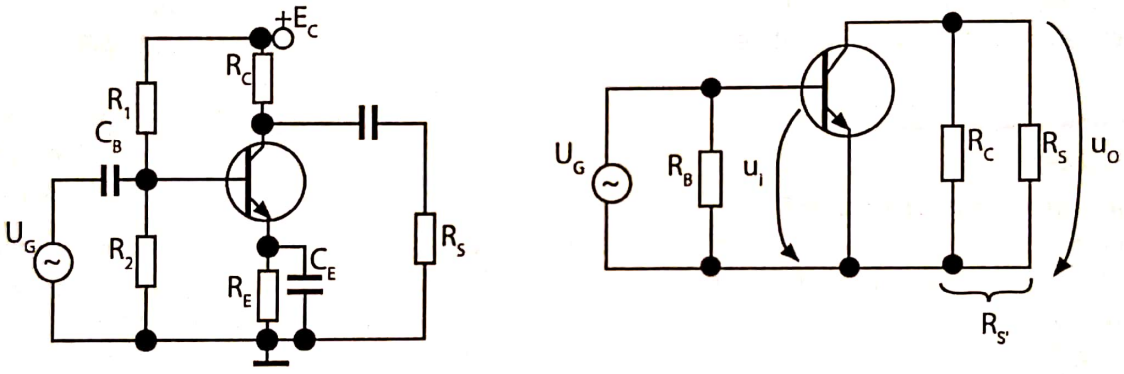
Generatorul de semnal alternativ este separat de etajul propriu-zis printr-o capacitate, numită şi *capacitate de cuplaj*, $\mathbf{C_B}$, care are rolul de a bloca accesul curentului continuu, dar şi de a permite trecerea curentului alternativ. Rezistenţa de sarcină, R_S, este conectată în colector prin capacitatea $\mathbf{C_S}$ care este tot o capacitate de cuplaj, având acelaşi rol ca si capacitatea C_B.

În sfârşit, rezistenţa R_E (care stabilizează punctul static de funcţionare) este *decuplată* în curent alternativ prin capacitatea $\mathbf{C_E}$, de valoare suficient de mare pentru a se comporta ca un scurtcircuit în curent alternativ, la frecvenţa de lucru. Capacităţile C_B şi C_S sunt alese astfel încât să se comporte ca scurtcircuite în curent alternativ, în toată gama de frecvenţe de lucru.

În figura 4.36.b este prezentată schema echivalentă de curent alternativ. În această schemă, condensatoarele au dispărut deoarece se comportă ca scurtcircuite în curent alternativ. De asemenea, sursa de curent continuu se comportă ca un scurtcircuit în curent alternativ.

În aceste condiţii:

$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, iar sarcina totală în colector va fi: $R_{S'} = \frac{R_C R_S}{R_C + R_S}$



a) *Schema de principiu* **b)** *Schema de curent alternativ*

Fig. 4.36. *Amplificator cu un tranzistor în conexiunea EC*

Dacă semnalul de intrare este de amplitudine suficient de mică (de ordinul milivolţilor), atunci caracteristicile dinamice ale tranzistorului pot fi considerate liniare, în sensul că, la variaţii egale ale semnalelor de intrare, se obţin variaţii egale ale semnalelor de ieşire.

În aceste condiţii, funcţionarea tranzistorului în curent alternativ se poate studia fie grafic, prin **metoda aproximării liniare a caracteristicilor pe porţiuni**, utilizând caracteristicile statice de funcţionare, fie algebric, prin **metoda circuitelor echivalente**, înlocuind tranzistorul cu un circuit echivalent compus din elemente obişnuite de circuit: generatoare de tensiune sau de curent, rezistoare, capacităţi.

Analiza grafică a funcţionării tranzistorului în curent alternativ

Din figura 4.36 se observă că semnalul de curent alternativ, $u_G = U_G \sin \omega t$, se aplică pe baza tranzistorului. În condiţiile aproximării liniare, în jurul punctului static de funcţionare, a caracteristicii de intrare, acesta va determina un curent de intrare:

$i_B = I_B \sin \omega t$.

Curentul de ieşire se poate determina pe baza caracteristicii de transfer $i_C = i_C (i_B)$, prezentată în figura 4.37 şi care este aproximativ liniară.

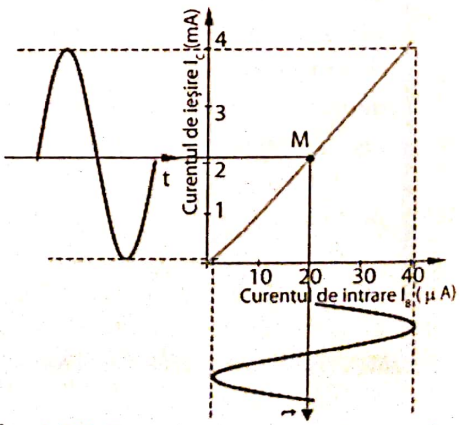


Fig. 4.37. *Funcţionarea tranzistorului în curent alternativ*

Scanned with OKEN Scanner

Astfel, atunci când i_B variază după o lege sinusoidală:

$i_B = I_B \sin \omega t$, I_C va avea o lege de variație de aceiași formă:

$i_C = I_C \sin \omega t$.

Din figură se observă că, în timp ce valoarea instantanee a lui i_B variază între ± 20 μA, valoarea instantanee a lui i_C ia valori între ± 2 mA.

În felul acesta se evidențiază cu ușurință funcția de amplificator a tranzistorului.

Pentru a studia variația tensiunii de ieșire, u_{CE}, apelăm la familia caracteristicilor de ieșire, $i_C = i_C (u_{CE})$.

Se observă că, atunci când curentul de bază crește (în primul sfert de perioadă), curentul de colector de asemenea crește, în timp ce tensiunea dintre colector și emitor scade (conform cu sensurile săgeților).

Atunci când curentul de bază devine descrescător, curentul de colector descrește și el, iar tensiunea u_{CE} începe să crească. În baza aproximării liniare a caracteristicilor tranzistorului, rezultă că tensiunea de ieșire va avea aceeași variație sinusoidală ca și tensiunea de intrare, cu observația că acestea sunt în antifază (când tensiunea de intrare crește, cea de ieșire scade și invers).

Atunci când la intrarea tranzistorului se aplică tensiunea $u_G = U_G \sin \omega t$, punctul de funcționare se va deplasa pe dreapta de sarcină între punctele N și P. Segmentul de dreaptă determinat de N și P se numește **caracteristică dinamică.** Mărimea acestui segment depinde de amplitudinea semnalului aplicat la intrare.

De asemenea, se observă că, nu numai curentul este amplificat de către tranzistorul în conexiunea emitor comun, ci și tensiunea; în timp ce tensiunea de intrare ia valori de ordinul milivolților, tensiunea de ieșire ia valori de ordinul volților.

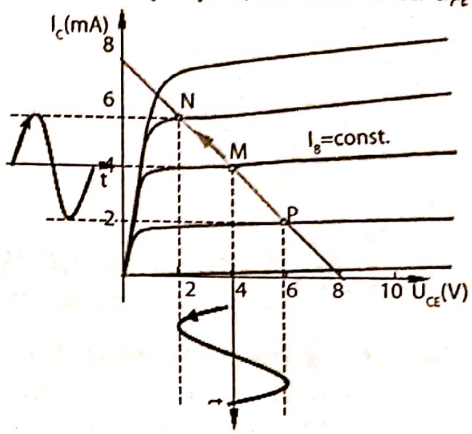


***Fig. 4.38.** Caracteristica dinamică*

De reținut!

În concluzie, tranzistorul în conexiune emitor comun amplifică în curent, amplifică în tensiune, iar tensiunea de ieșire este defazată cu 180° față de tensiunea de intrare.

4.5.13. Comportarea tranzistorului în funcție de frecvență

După cum s-a arătat în paragraful anterior, pe măsură ce crește frecvența semnalului sinusoidal aplicat la intrarea tranzistorului, încep să se facă simțite din ce în ce mai puternic capacitățile joncțiunilor.

Aceasta are ca efect diminuarea proprietății de amplificare a tranzistorului. Deoarece, în funcție de conexiunea tranzistorului, poziția fizică, în circuit, a capacităților diferă, iar influența acestora asupra amplificării diferă în funcție de conexiunea în care este montat tranzistorul.

Astfel, se constată că influența frecvenței asupra amplificării este mai puternică în conexiune emitor comun, în sensul că scăderea amplificării devine importantă începând de la frecvențe mai joase decât în conexiunea bază comună.

Se definește ca „frecvență-limită" sau „frecvență de tăiere", în conexiunea emitor comun, frecvența f_β la care factorul de amplificare în curent în conexiune emitor comun, β, scade la $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$ din valoarea constantă pe care o avea la frecvențe joase.

De asemenea, se definește ca „frecvență-limită" sau „frecvență de tăiere", în conexiunea bază comună, frecvența f_α la care factorul de amplificare în curent în conexiune emitor comun, α, scade la $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$ din valoarea constantă pe care o avea la frecvențe joase.

Frecvențele f_α și f_β reprezintă două dintre frecvențele caracteristice ale tranzistoarelor și arată că fiecare tranzistor poate amplifica semnale într-o bandă limitată de frecvențe.

Scanned with OKEN Scanner

Rezumat

1. Tranzistorul este un dispozitiv electronic care prezintă două proprietăţi: *amplificare* şi *comutaţie*.
2. Proprietatea de amplificare constă în faptul că semnalul obţinut la ieşirea dispozitivului poate avea putere mai mare decât semnalul aplicat la intrarea acestuia.
3. Proprietatea de comutaţie constă în faptul că tranzistorul poate trece din starea de conducţie în starea de blocare şi, invers, prin intermediul unui semnal de comandă.
4. Tranzistorul bipolar este un dispozitiv electronic realizat dintr-un monocristal semiconductor în care sunt realizate două joncţiuni *pn*, situate în imediată vecinătate una faţă de cealaltă.
5. Tranzistorul bipolar poate fi o structură *npn* sau *pnp*.
6. Funcţionarea tranzistorului este guvernată de două ecuaţii fundamentale (ultimele două relaţii sunt echivalente):
   - $i_E = i_C + i_B$ – prima ecuaţie fundamentală a tranzistorului.
   - $i_C = \alpha\, i_E + I_{CB0}$ – a doua ecuaţie fundamentală a tranzistorului în conexiune bază comună.
   - $i_C = \beta\, i_B + I_{CE0}$ – a doua ecuaţie fundamentală a tranzistorului în conexiune emitor comun.

Evaluarea cunoştinţelor

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. Tranzistorul bipolar este un dispozitiv electronic semiconductor format:
a) dintr-un monocristal semiconductor în care se creează, prin impurificare, trei regiuni alternative *pnp* sau *npn*;
b) din trei monocristale *p*, *n*, *p* sau *n*, *p*, *n* alipite şi introduse într-o capsulă prevăzută cu trei electrozi;
c) dintr-un monocristal semiconductor pur, la care se fixează trei electrozi.
d) dintr-un monocristal semiconductor în care se creează, prin impurificare, patru regiuni alternative *pnpn* sau *npnp*.

2. În structura fizică a unui tranzistor bipolar iau naştere:
a) două joncţiuni *pn*;
b) trei joncţiuni *pn*;
c) patru joncţiuni *pn*;
d) o joncţiune *pn*.

3. În funcţie de doparea regiunilor ce alcătuiesc tranzistorul bipolar, există următoarele tipuri de tranzistoare:
a) *pnp*;
b) *npp*;
c) *npn*;
d) *pnpn*.

4. Pentru ca un tranzistor bipolar să funcţioneze în regiunea activă normală, este necesar ca:
a) atât joncţiunea emitorului, cât şi cea a colectorului să fie polarizate direct;
b) atât joncţiunea emitorului, cât şi cea a colectorului să fie polarizate invers;
c) joncţiunea emitorului să fie polarizată direct, iar cea a colectorului invers;
d) joncţiunea emitorului să fie polarizată invers, iar cea a colectorului direct.

5. Curentul de bază al unui tranzistor *npn*, funcţionând în regiunea activă normală, are sensul:
a) spre bază pentru orice tensiune u_{BE};
b) dinspre bază pentru orice tensiune u_{BE};
c) spre bază pentru tensiuni u_{BE} mici şi dinspre bază pentru tensiuni u_{BE} mari;
d) dinspre bază pentru tensiuni u_{BE} mici şi dinspre bază pentru tensiuni u_{BE} mari.

Scanned with OKEN Scanner

6. Un tranzistor funcţionează în regiunea de saturaţie când:
a) joncţiunea emitorului este polarizată direct, iar cea a colectorului este polarizată invers;
b) joncţiunea emitorului este polarizată invers, iar cea a colectorului este polarizată direct;
c) joncţiunea emitorului este polarizată direct, iar cea a colectorului este polarizată direct;
d) joncţiunea emitorului este polarizată invers, iar cea a colectorului este polarizată invers.

7. Cum variază I_{CB0} cu creşterea temperaturii în cazul unui tranzistor de siliciu:
a) aproximativ liniar;
b) aproximativ se dublează la fiecare 6 °C;
c) aproximativ se dublează la fiecare 1 °C;
d) aproximativ se dublează la fiecare 100 °C.

8. După modul de polarizare al celor două joncţiuni (J_1 şi J_2) ale unui tranzistor bipolar se pot defini:
a) două regimuri de funcţionare;
b) trei regimuri de funcţionare;
c) patru regimuri de funcţionare;
d) cinci regimuri de funcţionare.

9. Modificând valoarea rezistenţei $\mathbf{R_C}$ din circuitul reprezentat în figura 4.39 se modifică:
a) tensiunea U_{BE};
b) curentul de colector, I_C;
c) tensiunea sursei de alimentare, E_C;
d) curentul de bază, I_B.

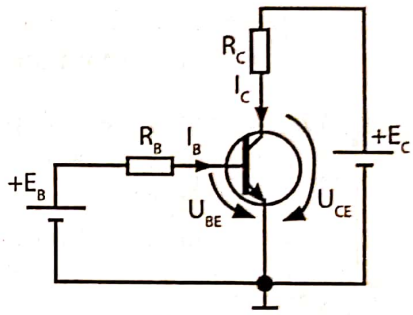


Fig. 4.39

10. Colectorul tranzistorului bipolar se identifică măsurând rezistenţele bază-emitor ($\mathbf{R_{BE}}$) şi bază colector ($\mathbf{R_{BC}}$). Între aceste rezistenţe există relaţia (tranzistor fără defecte):
a) $R_{BE} < R_{BC}$;
b) $R_{BE} > R_{BC}$;
c) $R_{BE} = R_{BC}$;
d) $R_{BE} >> R_{BC}$.

11. Caracteristicile de transfer ale tranzistoarelor bipolare reprezintă dependenţa dintre:
a) două mărimi de intrare;
b) două mărimi de ieşire;
c) o mărime de ieşire şi valoarea tensiunii sursei de alimentare;
d) o mărime de ieşire şi o mărime de intrare.

12. Pentru un tranzistor în conexiunea EC, caracteristicile de ieşire reprezintă dependenţa dintre:
a) $I_C = f(U_{CE}) \mid I_B = ct$;
b) $I_C = f(U_{CE}) \mid U_{BE} = ct$;
c) $I_C = f(U_{BE}) \mid U_{CB} = ct$;
d) $I_B = f(U_{BE}) \mid U_{CE} = ct$.

13. Caracteristica statică de intrare pentru un tranzistor bipolar în conexiunea bază comună este dependenţa dintre:
a) $I_E = f(U_{EB})$;
b) $I_B = f(U_{BE})$;
c) $I_B = f(U_{BC})$;
d) $I_E = f(U_{BC})$.

Scanned with OKEN Scanner

14. Punctul static de funcţionare al tranzistorului este determinat de:
a) curentul şi tensiunea de ieşire corespunzătoare tensiunii sau curentului de comandă;
b) tensiunea şi curentul de intrare corespunzător tensiunii de alimentare;
c) semnalul aplicat la intrare;
d) rezistenţa de sarcină.

15. Punctul static de funcţionare este fixat pe dreapta de sarcină de:
a) tipul tranzistorului (pnp sau npn);
b) circuitul de polarizare;
c) parametrii tranzistorului.
d) semnalul aplicat la intrare.

16. Măsurând rezistenţa bază colector a unui tranzistor bipolar în ambele sensuri, se obţine aceeaşi valoare. În acest caz se poate spune că:
a) tranzistorul nu prezintă defecte;
b) joncţiunea bază colector este scurtcircuitată;
c) joncţiunea bază colector este întreruptă;
d) joncţiunea bază colector este întreruptă sau scurtcircuitată în funcţie de valoarea rezistenţei măsurate.

17. Creşterea puterii disipate peste valoarea maximă, fără distrugerea tranzistorului se poate face:
a) prin mărirea valorii sursei de alimentare;
b) prin montarea tranzistoarelor pe radiator;
c) folosind circuite sesizoare de temperatură;
e) prin scăderea valorii sursei de alimentare.

18. Zona haşurată din figura 4.40 corespunde:
a) domeniului interzis de valori pentru funcţionarea tranzistorului;
b) domeniului permis de valori pentru funcţionarea tranzistorului;
c) regimului activ invers;
d) regimului de blocare a tranzistorului.

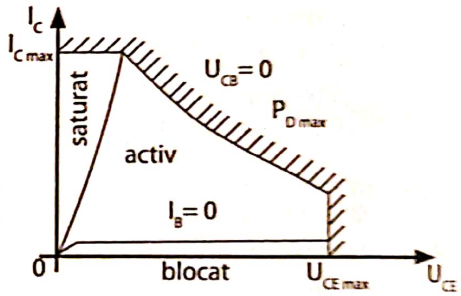


Fig. 4.40

19. Pentru un tranzistor bipolar în regim de saturaţie tensiunea colector–emitor (U_{CE}) este:
a) foarte mică; **b)** $U_{CE} \approx E_C$;
c) $U_{CE} \approx E_C/2$; **d)** $U_{CE} \approx E_C/4$.

20. Tranzistorul bipolar se comportă ca un comutator deschis în:
a) regim activ normal; b) regim de blocare;
c) regim de saturaţie; d) regim activ invers.

II. **1.** Scrie litera corespunzătoare fiecărui enunţ şi notează în dreptul ei litera **A**, dacă apreciezi că enunţul este adevărat, sau litera **F**, dacă apreciezi că enunţul este fals.
a) Tranzistorul este un dispozitiv electronic care prezintă două proprietăţi: amplificare şi comutaţie.
b) Regimul de tăiere se obţine atunci când ambele joncţiuni sunt polarizate direct.
c) Rezistenţa montată în emitorul unui tranzistor asigură stabilizarea punctului static de funcţionare în raport cu dispersia lui β şi cu variaţia temperaturii.
d) Tranzistoarele realizate din siliciu funcţionează corect până la 500 °C.
e) În regim activ normal, tranzistorul se comportă ca amplificator.

2. Scrie informaţia corectă care completează spaţiile libere.
a) Săgeata din simbolul unui tranzistor bipolar corespunde joncţiunii *pn* ... (1) ... . Vârful săgeţii merge întotdeauna de la zona ... (2) ... spre zona ... (3) ... . Ea arată şi sensul normal pozitiv al ... (4) ... prin tranzistor (de la plus la minus).
b) Două trazistoare cu caracteristici ... (5) ... , unul de tip *npn* şi altul de tip *pnp*, se numesc ... (6) ... .

Scanned with OKEN Scanner

c) Pentru a avea loc efectul de tranzistor, este necesar ca ... (7) ... să aibă o lățime cât mai mică.
d) Regimul activ normal se obține atunci când joncțiunea emitorului este polarizată ... (8) ..., iar joncțiunea colectorului este polarizată ... (9) ... .
e) În regim de blocare, tranzistorul se comportă ca ... (10) ... .

III. Rezolvă următoarele probleme.

1. Se consideră schema de polarizare din figura 4.41, pentru care se cunosc: $\beta_0 = 500$, $I_{CE0} = 0$, $E_C = 10$ V, $U_{CE} = 5$ V și $I_C = 10$ mA.
a) Specifică tipul tranzistorului.
b) Denumește conexiunea tranzistorului.
c) Copiază schema pe fișa de evaluare și reprezintă curenții din circuit.
d) Determină intensitatea curentul de bază I_B.
e) Calculează căderea de tensiune pe R_C.

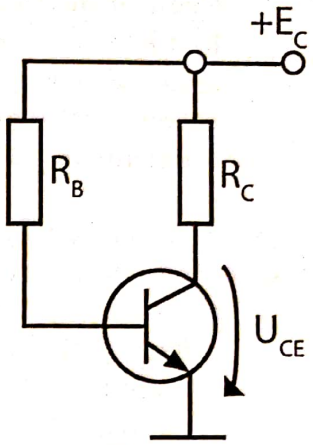


Fig. 4.41

2. Pentru circuitul reprezentat în figura 4.42, se cunosc: $I_{E2} = 51{,}51$ mA, $I = 51{,}50$ mA și $\beta_1 = 100$.
a) Calculează I_{C1}, I_{E1};
b) Calculează I_{C2}, I_{B2} și β_2.

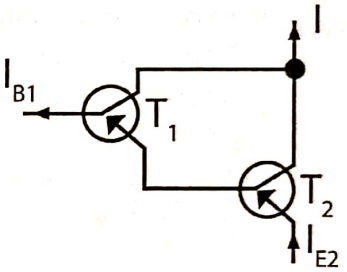


Fig. 4.42

3. Un tranzistor *pnp* este polarizat în regiunea activă normală și funcționează la următorii parametri: curentul de colector $I_C = 1$ mA, curent de emitor $I_E = 1{,}04$ mA și curentul de curentul rezidual de colector $I_{CB0} = 10$ μA.
a) Calculează factorul de amplificare în curent α_0;
b) Calculează factorul de amplificare în curent β_0;
c) Calculează curentul rezidual de colector I_{CB0};
d) Calculează curentul de bază I_B.

4. Se consideră circuitul din figura 4.43 pentru care se cunosc valorile următoarelor mărimi:
$E = 20{,}4$ V; $R_c = 10$ kΩ; $R_b = 1$ MΩ; $U_{BE} = 0{,}4$ V; $I_{CB0} = 5$ μA și $\beta = 50$.
a) Știind că tranzistorul funcționează în regimul activ normal, calculează coordonatele punctului static de funcționare;
b) Determină condiția pe care trebuie să o îndeplinească rezistența R_b pentru ca tranzistorul să funcționeze în regimul activ normal. Mărimile E, R_c, U_{EB}, I_{CB0} și β au valorile de la punctul a);
c) Determină coordonatele punctelor de intersecție ale dreptei de sarcină cu axele de coordonate în planul caracteristicilor statice de ieșire.

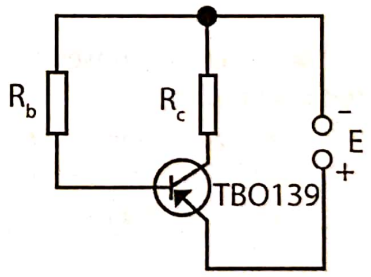


Fig. 4.43

5. Pentru polarizarea tranzistoarelor în circuitele integrate, se utilizează schema din figura 4.44. Tranzistoarele T_1 și T_2 sunt identice și au următorii parametri:
$\beta = 100$, $I_{CB0} = 0$, $u_{BE} = 0{,}6$ V.
Ambele tranzistoare funcționează în regiunea activă normală și $I_{E1} = I_{E2}$.
a) Demonstrează că valoarea curentului I_0 nu depinde de sarcină.
b) Determină valoarea curentului I_0, știind că $E_c = 5$ V și $R_{C1} = 10$ kΩ.

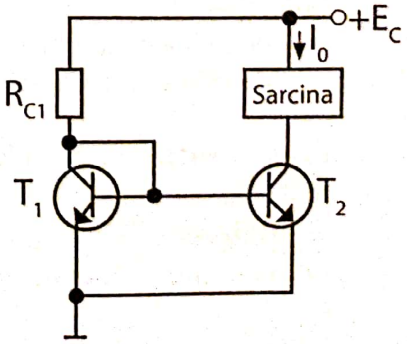


Fig. 4.44

Scanned with OKEN Scanner

6. Pentru polarizarea corectă a tranzistorului T_2, în circuitele integrate se utilizează schema din figura 4.45. Tranzistoarele T_1 şi T_2 sunt identice şi au următorii parametri:

$\beta = 100$, $I_{CB0} = 0$, $u_{BE} = 0{,}6$ V.

Elemente de circuit din schemă au următoarele valori:

$R_{c1} = R_{c2} = 20$ kΩ, $R_3 = R_4 = 1$ kΩ, $E_c = 10$ V

a) Identifică tipul tranzistoarelor şi conexiunea.

b) Reprezintă şi marchează pe desen curenţii şi tensiunile.

c) Determină punctele statice de funcţionare ale tranzistoarelor.

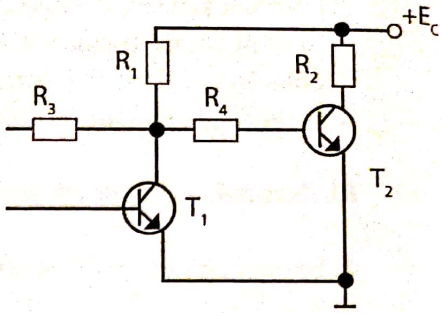


Fig. 4.45

7. În circuitul din figura 4.46, tranzistorul are parametri cuprinşi în următoarele game de valori:

$U_{EB} = 0{,}15 \div 0{,}2$ V, $\beta = 50 \div 100$, $I_{CBO} = 2 \div 10$ μA

a) Reprezintă schema, pe fişa de evaluare, şi indică sensul curenţilor prin circuit şi tensiunile U_{CE} şi U_{EB} de la bornele tranzistorului.

b) Determină limitele între care variază curentul de colector I_C.

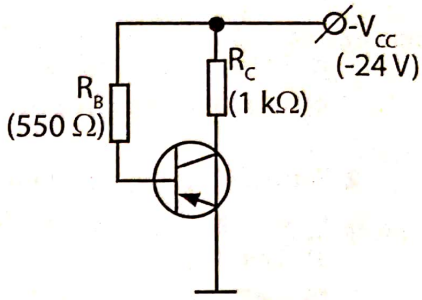


Fig. 4.46

8. Se consideră montajul din figura 4.47.

Tranzistoarele sunt identice şi au următorii parametri:

$\beta = 525$, $I_{CB0} = 0$, $u_{BE} = 0{,}6$ V.

Elemente de circuit din schemă au următoarele valori:

$R_1 = 510$ kΩ; $R_2 = 51$ kΩ; $R_3 = 3$ kΩ;

$R_4 = 0{,}2$ kΩ; $R_5 = 1$ MΩ; $R_6 = 4$ kΩ

$E_c = 15$ V

a) Identifică tipul tranzistoarelor şi conexiunea.

b) Reprezintă şi marchează pe desen curenţii şi tensiunile.

c) Determină punctele statice de funcţionare ale tranzistoarelor.

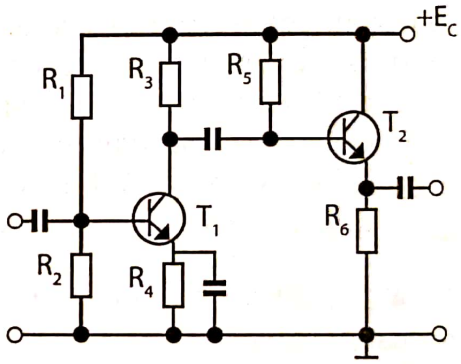


Fig. 4.47

9. Realizează un eseu cu titlul „Tranzistorul bipolar", după următoarea structură de idei:

a) Conexiunile tranzistorului bipolar.

b) Regimurile de funcţionare ale tranzistorului bipolar.

c) Parametrii tranzistorului bipolar.

Lucrare de laborator

Identificarea terminalelor şi a tipului de tranzistor (pnp sau npn)

Obiective

- Identificarea tipului tranzistoarelor bipolare;
- Identificarea terminalelor tranzistoarelor bipolare.

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Tranzistoare	T_A	BC 171, BD 135
		T_B	BC 177, BD 137
Aparate	Multimetru digital sau analogic		
Elemente de conectare	Conductoare de legătură sau conectori		

Scanned with OKEN Scanner

Desfășurarea lucrării

- realizează montajele din figura 4.48, urmând indicațiile.

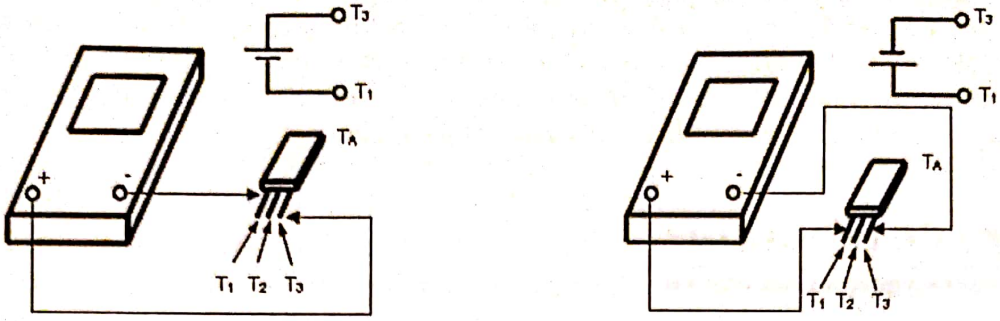


Fig. 4.48. *Măsurarea rezistenței joncțiunilor tranzistorului bipolar*

- poziționează comutatorul selector al multimetrului pe poziția (⊣▷⊢), dacă aparatul este digital, și pe domeniul rezistențelor, dacă aparatul este analogic;
- măsoară rezistența $R_{T_1T_3}$, dintre terminalul T_1 și T_3, în ambele sensuri, așa cum se indică în figura 4.39, iar valorile obținute, notează-le în tabelul 4.4;
- repetă operația de măsurare a rezistenței între terminalele $T_1 - T_2$ și $T_2 - T_3$ în ambele sensuri și completează tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

T	$R[T_3-T_1]$		$R[T_3-T_2]$		$R[T_1-T_2]$		Tipul tranzistorului	Identificarea terminalelor
	T_3 T_1	T_3 T_1	T_3 T_2	T_3 T_2	T_1 T_2	T_1 T_2		
T_A								$T_1=$ $T_2=$ $T_3=$
T_B								$T_1=$ $T_2=$ $T_3=$

- compară valorile măsurate cu valorile din tabelul 4.5 și identifică terminalele și tipul tranzistorului;
- repetă operațiile de măsurare pentru tranzistoarele T_B, T_C, ... ;
- pentru identificarea emitorului și a colectorului, compară rezistența joncțiunilor bază-emitor, respectiv bază-colector ($R_{BE} > R_{BC}$).

Tabelul 4.5

R_{BC}		R_{BE}		R_{CE}		Tipul tranzistorului	Terminal
B C	B C	B E	B E	C E	C E		
mică	∞	mică	∞	∞	∞	npn	$T_1=$ $T_2=$ $T_3=$
∞	mică	∞	mică	∞	∞	pnp	$T_1=$ $T_2=$ $T_3=$

- dacă valorile măsurate diferă de cele din tabelul 4.5, tranzistorul este defect.

Scanned with OKEN Scanner

NOTĂ

Cu ajutorul aparatelor digitale se mai pot identifica tipul tranzistorului și terminalele acestuia, introducând tranzistorul în soclul special de pe panoul frontal al aparatului. Se fac permutări succesive (dacă este cazul) ale poziției tranzistorului față de soclu până când aparatul indică valoarea factorului de amplificare h_{21e}. În acel moment, tipul de tranzistor și semnificația terminalelor coincide cu cea înscrisă pe soclu.

Lucrare de laborator

Trasarea caracteristicilor pentru tranzistorul bipolar în conexiunea emitor comun

Obiective

- Ridicarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor bipolare
- Analizarea comportamentului tranzistoarelor bipolare, pe baza caracteristicilor statice

I. Caracteristicile statice de intrare $I_B = f(U_{BE})/U_{CE} = ct$

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistor	R	5,6 kW
	Potențiometru	P	100 kW
	Tranzistor	T	BC 171
Aparate	Multimetru digital sau analogic	mA	
		V	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată și reglabilă	S_1	0-24 V
		S_2	0-24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Desfășurarea lucrării

- Realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.49.

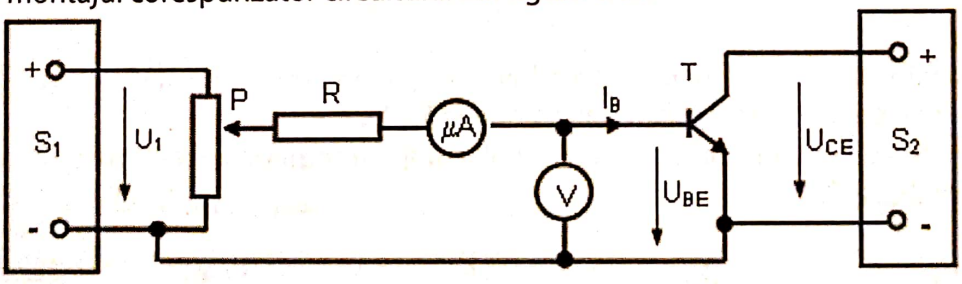


Fig. 4.49. *Circuit pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

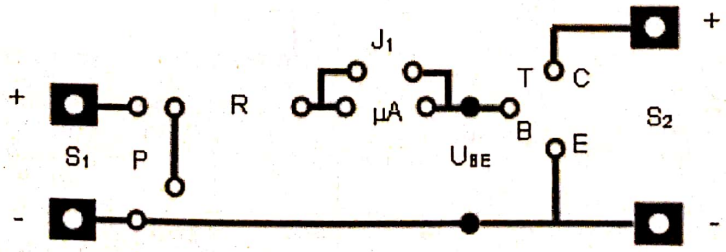


Fig. 4.50. *Schema de cablaj a circuitului pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

Scanned with OKEN Scanner

- reglează sursele S_1 şi S_2 astfel încât $U_{CE} = 0$ V şi $U_1 = 12$ V;
- reglează poziţia cursorului potenţiometrului **P** astfel încât microampermetrul conectat în circuitul bazei tranzistorului **T** să măsoare valorile intensităţilor curenţilor de bază I_B indicate în tabelul 4.6;

Tabelul 4.6

	I_B [μA]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	60
$U_{CE} = 0$ V	U_{BE} [V]										
$U_{CE} = 5$ V	U_{BE} [V]										
$U_{CE} = 10$ V	U_{BE} [V]										

- pentru fiecare valoare a intensităţii curentului de bază, măsoară tensiunea U_{BE} şi înscrie valoarea acesteia în tabelul 4.6;
- reia operaţiile de măsurare a tensiunii U_{BE} pentru valorile intensităţii curentului I_B indicate în tabelul 4.6, stabilind pentru tensiunea U_{CE} valorile **5 V** şi **10 V**;
- reprezintă punctele de coordonate (U_{BE}, I_B) în sistemul de axe de coordonate reprezentat în figura 4.51, la o scară convenabil aleasă;
- uneşte punctele pentru fiecare U_{CE} = **ct**, obţinând caracteristicile statice de intrare.

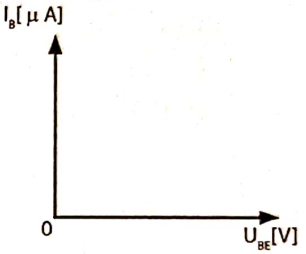


Fig. 4.51

II. Caracteristicile statice de ieşire $I_C = f(U_{CE})/I_B = ct$

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	5,6 kΩ
		R_2	560 Ω
	Potenţiometru	P	100 kΩ
	Tranzistor	T	BC 171
Aparate	Multimetru digital sau analogic	μA	
		mA	
		V	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S_1	0-24 V
		S_2	0-24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Desfăşurarea lucrării

- realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.52;

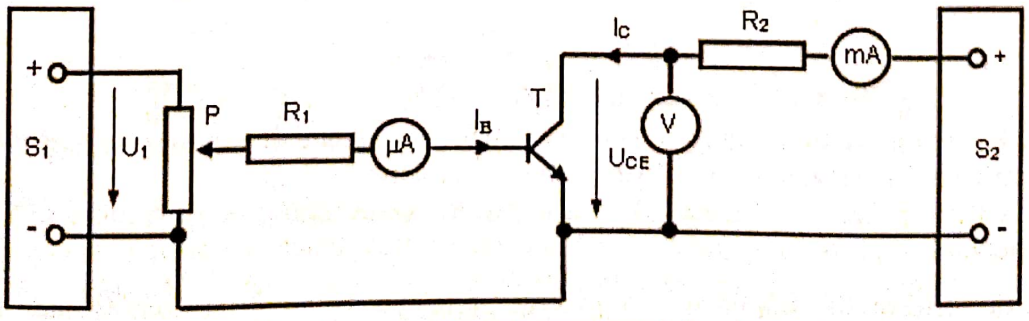


Fig. 4.52. Circuit pentru trasarea caracteristicilor statice de ieşire

Scanned with OKEN Scanner

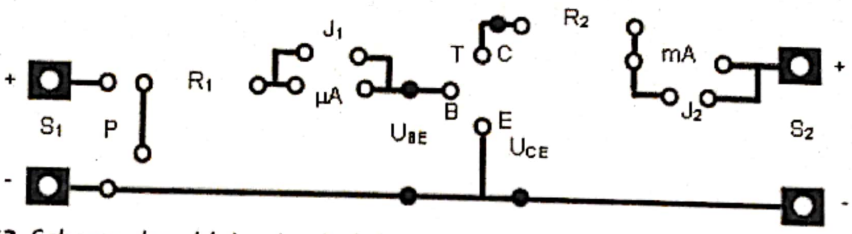


Fig. 4.53. Schema de cablaj a circuitului pentru trasarea caracteristicilor statice de ieşire

- reglează sursa S_1 astfel încât $U_1 = 12$ V, valoare care se menţine constantă;
- reglează sursa S_2 şi potenţiometrul P astfel încât $U_{CE} = 0$ şi intensitatea curentului de bază I_B să fie 20 μA;
- reglează sursa S_2, astfel încât pentru tensiunea U_{CE} să se stabilească valorile indicate în tabelul 4.7;
- pentru fiecare valoare a tensiunii U_{CE} indicată în tabelul 4.7, măsoară intensitatea curentului de colector, înscriind în coloana corespunzătoare a tabelului valorile măsurate, completându-se astfel prima linie.

Tabelul 4.7

I_B[μA]	U_{CE}[V]	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	5	8
20 μA	I_C[mA]									
40 μA	I_C[mA]									
60 μA	I_C[mA]									

- reia operaţiile de reglare şi măsurare completând liniile următoare ale tabelului 4.7;
- reprezintă punctele de coordonate I_C, U_{CE} în sistemul de axe de coordonate din figura 4.54;
- uniţi punctele obţinute pentru fiecare valoare a curentului de bază I_B = ct, obţinând caracteristicile statice de ieşire.

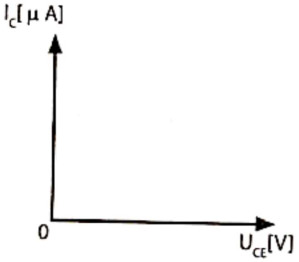


Fig. 4.54

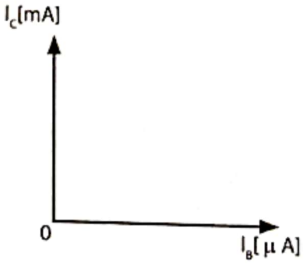


Fig. 4.55

III. Caracteristicile statice de transfer $I_C = f(I_B) / U_{CE} = ct$

Desfăşurarea lucrării

Realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.55;

- reglează sursa S_2 pentru a obţine tensiunea $U_{CE} = 5$ V;
- reglează sursa S_1 pentru a obţine tensiunea $U_1 = 12$ V şi potenţiometrul P pentru a obţine valorile curentului de bază I_B indicate în tabelul 4.8.

Tabelul 4.8

I_B [μA]	0	20	40	60
I_C[mA]				
h_{21e}				

- măsoară intensitatea curentului de colector pentru fiecare valoare a curentului de bază indicată în tabelul 4.8 şi înscrie valoarea măsurată în coloana corespunzătoare;
- reprezintă punctele de coordonate I_C, I_B în sistemul de axe de coordonate din figura 4.55.
- uneşte punctele reprezentate grafic, obţinând caracteristica statică de transfer;
- calculează factorul de amplificare în curent cu relaţia $h_{21e} = \frac{I_C}{I_B}$ şi completează linia a doua a tabelului 4.8.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Trasarea caracteristicilor pentru tranzistorul bipolar în conexiunea bază comună

Obiective

- Ridicarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor bipolare
- Analizarea comportamentului tranzistoarelor bipolare, pe baza caracteristicilor statice

I. Caracteristicile statice de intrare $I_E = f(U_{BE})/U_{CB} = ct$

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	2.2 kΩ
		R_2	1 kΩ
	Potenţiometru	P	1 kΩ
	Tranzistor	T	BC 171
Aparate	Multimetru digital sau analogic	mA, V_1, V_2	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S_1	0-24 V
		S_2	0-24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Desfăşurarea lucrării

- realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.56;
- reglează sursa S_2 pentru a obţine tensiunea $U_{CB} = 0{,}5$ V şi sursa S_1 astfel încât tensiunea $U_1 = -12$ V;
- modifică poziţia cursorului potenţiometrului P pentru a obţine valorile curentului I_E indicate în tabelul 4.9;
- măsoară tensiunea U_{BE} pentru fiecare valoare a curentului I_E, completând linia 1 a tabelului 4.9;
- repetă operaţiile de măsurare a tensiunii U_{BE} pentru tensiunea $U_{CE} = 3$ V.

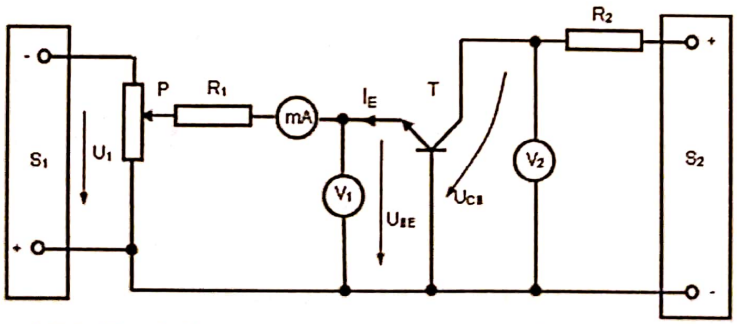


Fig. 4.56. *Circuitul pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

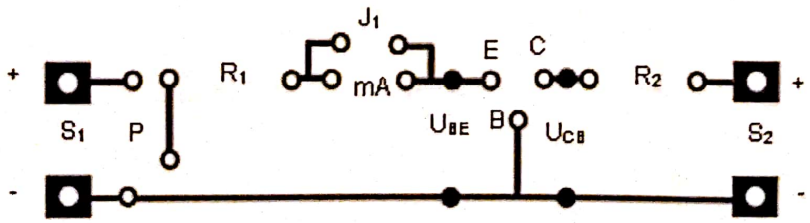


Fig. 4.57. *Schema de cablaj a circuitului pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.9

U_{CB} [V]	I_E [mA]	0	0,05	0,1	0,3	0,5	1
0,5 V	U_{BE} [V]						
3 V	U_{BE} [V]						

- reprezintă punctele de coordonate I_E, U_{BE} în sistemul de axe de coordonate din figura 4.58;
- unește punctele reprezentate grafic pentru fiecare valoare a tensiunii U_{CB} = **ct** obținând caracteristicile statice de intrare.

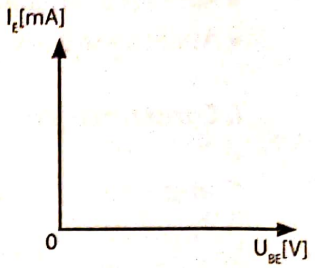


Fig. 4.58

II. Caracteristicile statice de ieșire $I_C = f(U_{CB})/I_E = ct$

Desfășurarea lucrării

- realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.59;
- întrerupe alimentarea sursei S_2 pentru a stabili tensiunea U_{CB} = **0 V**;
- reglează sursa S_1 pentru ca tensiunea U_1 = **– 12 V** și modifică cursorul potențiometrului **P** pentru a obține I_E = **4 mA**;
- reglează sursa S_2 astfel încât tensiunea U_{CB} să ia valorile înscrise în tabelul 4.10;

Tabelul 4.10

I_E [mA]	U_{CB} [V]	0	1	2	3	4	5
4	I_C [mA]						
2	I_C [mA]						

- pentru fiecare valoare a tensiunii U_{CB} indicată, măsoară intensitatea curentului I_C și înscrie valoarea măsurată în tabelul 4.10, în coloana corespunzătoare;
- repetă măsurările pentru I_E = **2 mA**;
- reprezintă grafic punctele de coordonate I_C, U_{CB} în sistemul de axe de coordonate din figura 4.59;
- unește punctele obținute pentru fiecare valoare I_E = **ct** pentru a obține caracteristicile statice de ieșire.

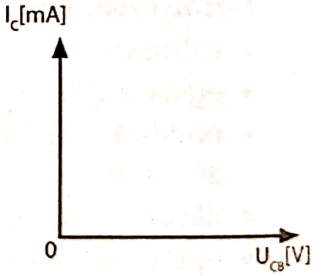


Fig. 4.59

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Trasarea caracteristicilor pentru tranzistorul bipolar în conexiunea colector comun

Obiective

- Ridicarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor bipolare
- Analizarea comportamentului tranzistoarelor bipolare, pe baza caracteristicilor statice

I. Caracteristicile statice de intrare $I_B = f(U_{CB})/U_{CE} = ct$

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/ caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	5,6 kΩ
		R_2	560 Ω
	Potenţiometru	P	100 kΩ
	Tranzistor	T	BC 171
Aparate	Multimetru digital sau analogic	μA	
		V_1; V_2	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S	0-24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Desfăşurarea lucrării

- realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.60;

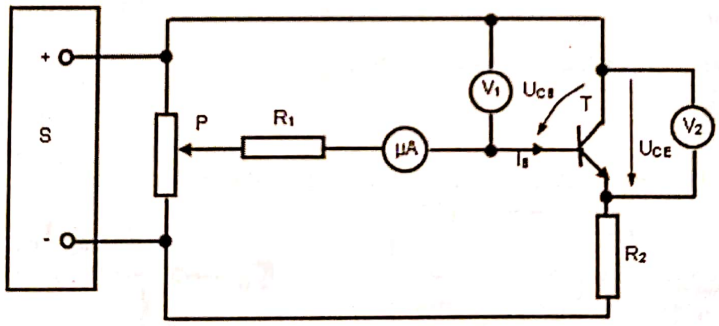


Fig. 4.60. *Circuitul pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

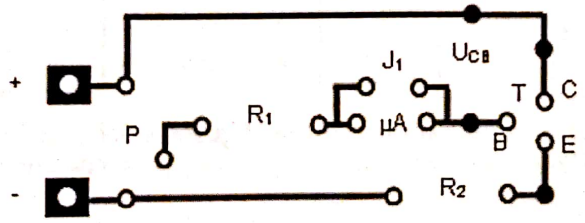


Fig. 4.61. *Schema de cablaj a circuitului pentru trasarea caracteristicilor statice de intrare*

- reglează sursa **S** pentru a obţine $U_{CE} = 4$ **V**;
- reglează potenţiometrul **P** astfel încât intensitatea curentului de bază să aibă valorile înscrise în tabelul 4.11;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.11

U_{CE} [V]	I_B [μA]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
4	U_{CB} [V]									
8	U_{CB} [V]									

- măsoară tensiunea U_{CB} pentru fiecare valoare a curentului de bază indicată în tabelul 4.11 şi completează linia 1 a tabelului;
- reglează sursa S_1 pentru a obţine tensiunea U_{CE} = **8 V** şi reia operaţiile de măsurare;
- reprezintă punctele de coordonate I_B, U_{CB} în sistemul de axe de coordonate din figura 4.62;
- uneşte punctele corespunzătoare pentru tensiunea U_{CE} = **ct** obţinând caracteristicile statice de intrare.

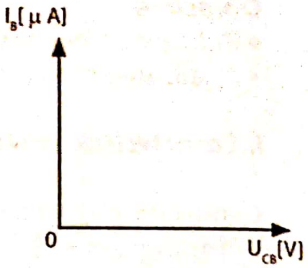


Fig. 4.62

II. Caracteristicile statice de ieşire $I_E = f(U_{EC})/I_B = ct$

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistor	R	560 Ω
	Potenţiometru	P	100 kΩ
	Tranzistor	T	BC 171
Aparate	Multimetru digital sau analogic	μA	
		mA	
		V	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S_1	0-24 V
		S_2	0-24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Desfăşurarea lucrării

- realizează montajul corespunzător circuitului din figura 4.63;

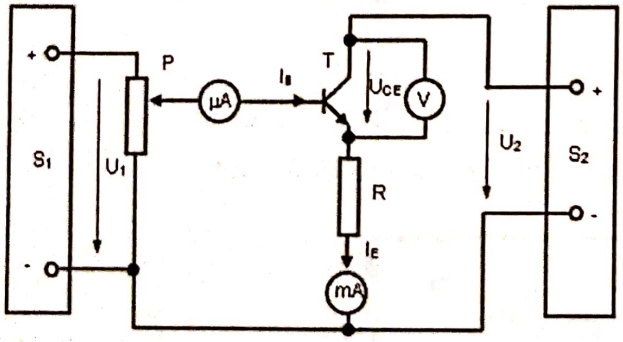


Fig. 4.63. *Circuitul pentru trasarea caracteristicilor statice de ieşire*

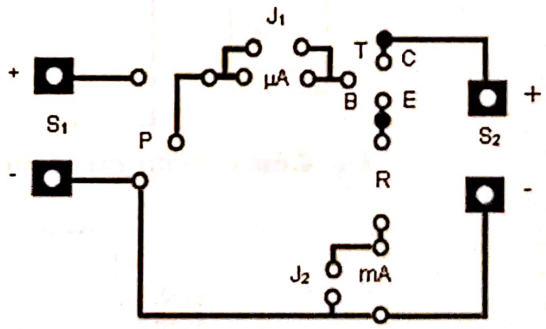


Fig. 4.64. *Schema de cablaj a circuitului pentru trasarea caracteristicilor statice de ieşire*

- reglează sursele S_1 şi S_2 astfel încât tensiunile U_1 şi U_2 să aibă valorile: U_1 = **12 V** şi U_2 = **0 V**.
- modifică poziţia cursorului potenţiometrului **P** astfel încât intensitatea curentului de bază să fie **20** μA;
- reglează sursa S_2 pentru ca tensiunea U_{CE} să ia valorile indicate în tabelul 4.12;
- pentru fiecare valoare a tensiunii U_{CE} indicată, măsoară intensitatea curentului I_E şi înscrie valoarea în coloana corespunzătoare a tabelului 4.12;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.12

I_B [μA]	U_{EC} [V]	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	5	10
20	I_E [mA]								
40	I_E [mA]								

- reia măsurările pentru o valoare a curentului de bază de **40 μA**;
- reprezintă punctele de coordonate I_E, U_{EC} în sistemul de axe de coordonate din figura 4.65 şi trasează caracteristicile statice de ieşire.

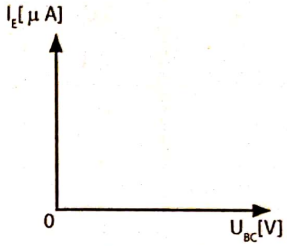


Fig. 4.65

Simulare cu ajutorul calculatorului

Familia caracteristicilor de ieşire

Obiective

- Ridicarea caracteristicilor statice ale tranzistoarelor bipolare
- Analizarea comportamentului tranzistoarelor bipolare, pe baza caracteristicilor statice

Resurse: Calculator, program de simulare **Multisim**.

Desfăşurarea lucrării

- realizează, cu ajutorul calculatorului şi al programului de simulare, circuitul din figura 4.66.
  $R_{V1} = 500$ kΩ
  $R_2 = 220$ kΩ
  $R_3 = 470$ Ω
  T_1 – 2N2222A
- conectează multimetrul 3 între bornele notate cu 1 şi 5;
- selectează funcţia ampermetru (A) şi setează domeniul de măsurare 1mA;
- conectează multimetrul 2 între bornele notate cu 4 şi 6;
- selectează funcţia ampermetru (A) şi setează domeniul de măsurare 1 A;
- conectează multimetrul 3 între bornele notate cu 4 şi 0 şi setează funcţia voltmetru (V), ca în figura alăturată;
- alimentează circuitul de intrare de la sursa de tensiune $V_1 = 5$ V şi circuitul de ieşire de la sursa de tensiune variabilă V_2;

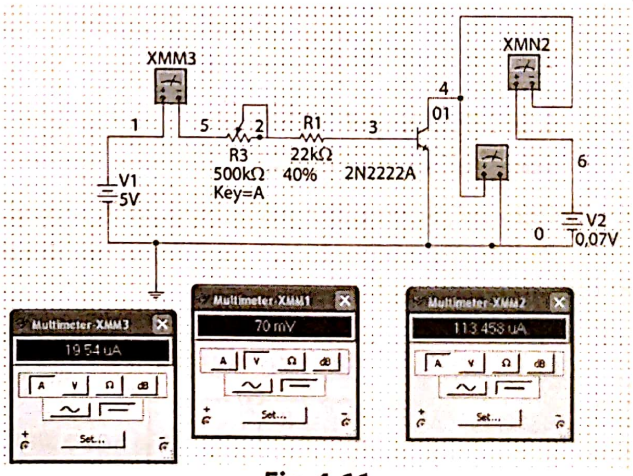


Fig. 4.66

- variază valoarea rezistorului R_{V1} astfel încât curentul I_B să aibă valoarea aproximativ $I_B = 10$ μA;
- reglează sursa variabilă, E_2, astfel încât voltmetrul să indice $U_{CE} = 0,05$ V;
- măsoară valoarea curentului de colector I_C şi notează valoarea măsurată în tabelul 4.13;
- repetă paşii 3, 4 şi 5 pentru toate valorile curentului de bază, din tabelul 4.13;
- cu ajutorul calculatorului şi al programului Microsoft Excel, realizează diagrama care reprezintă familia caracteristicilor de ieşire ale tranzistorului bipolar.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.13

I_B (μA) ⇒	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U_{CE}(V) ⇓	I_C (mA)									
0,05										
0,07										
0,1										
0,2										
0,4										
0,5										
1										
2										
4										
6										
8										
10										

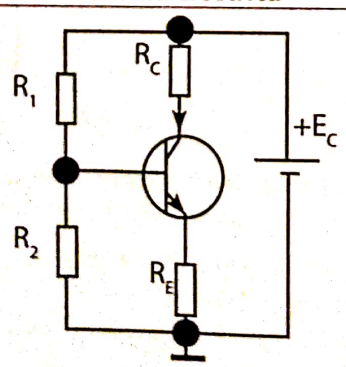
Sarcini de lucru

1. Analizează aspectul familiei caracteristicilor de ieşire ale tranzistorului bipolar.
2. Pe graficul obținut, identifică regiunile corespunzătoare regimurilor de funcționare ale tranzistorului bipolar.
3. În planul caracteristicilor de ieşire, delimitează aria de funcționare normală a unui tranzistor bipolar.
4. Compară cu rezultatele obținute în cadrul lucrării practice de laborator.
5. Întocmeşte un referat cu tema: „Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar".

Lucrare practică

Polarizarea tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun

Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un montaj pentru polarizarea tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun.

Schema electrică	Schema cablajului imprimat
	

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Auto evaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		multimetru	tranzistor, rezistori, sursă de alimentare, placă cablată cu cupru		
3.	Precizarea parametrilor specifici şi a valorilor limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	tranzistor, rezistori, cataloage de componente		
	Proiectarea cablajului imprimat			calc milimetric, creion		
	Realizarea cablajului imprimat	cuvă, maşină de găurit		placă cablată cu cupru, marker, clorură ferică, apă pentru spălat placa		
4.	Identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat conform documentaţiei tehnice			tranzistor, rezistori, sursa de alimentare, placă cablată cu cupru, conductoare de legătură		
5.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		tranzistor, rezistori, conductoare de legătură.		
6.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		tranzistor, rezistori, sursă de alimentare, placă cablată cu cupru, conductoare de legătură		
7.	Măsurarea tensiunii U_{BE}		multimetru	montaj, fişă de lucru.		
8.	Măsurarea tensiunii U_{CE}		multimetru	montaj, fişă de lucru		
9.	Măsurarea tensiunii care cade pe rezistorul R_C		multimetru	montaj, fişă de lucru		
10.	Calcularea curentului I_C			fişă de lucru		
11.	Reprezentarea PSF			fişă de lucru		

PROIECT

Tema: Circuit de polarizare a tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun.

Resursele necesare: Tranzistor, rezistori, sursă de alimentare, placă cablată cu cupru, conductoare de legătură, SDV-uri şi AMC-uri din laboratorul/atelierul de electronică.

Structura proiectului:

- Pagina de titlu (tema, autorii/autorul, clasa, şcoala, perioada de elaborare);
- Cuprinsul (titlurile capitolelor, subcapitolelor, subtemelor etc.);
- Argumentul;
- Dezvoltarea elementelor de conţinut:
- Concluzii (elemente de referinţă desprinse din studiul temei);
- Bibliografia;
- Anexa (toate materialele importante rezultate).

Scanned with OKEN Scanner

Implementarea proiectului presupune:
- proiectarea circuitului;
- realizarea practică a montajului;
- verificarea funcţionării montajului;
- tehnorectactarea proiectui;
- susţinerea proiectului.

Organizare: Activitatea se va desfăşura pe echipe de câte 4 elevi.

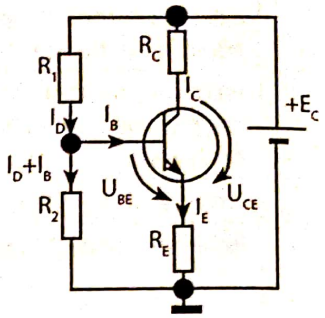


Fig. 4.67

Etape:

a) Proiectaţi circuitul de polarizare a tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun din figura 4.67, astfel încât să îndepliniţi următoarele condiţii:

Tranzistorul are punctul static de funcţionare $U_{CE} = 8$ V, $I_C = 1$ mA, $U_{BE} = 0{,}2$ V iar parametrii tranzistorului sunt: $\alpha = 0{,}98$; $I_{CBO} = 4$ μA. Se consideră $I_D = 10\ I_B$ şi tensiunea pe rezistenţa R_E este $U_{RE} = 10\ U_{BE}$.

b) Realizaţi montajul pe un cablaj imprimat.

c) Alimentaţi montajul şi, cu ajutorul multimetrului, verificaţi funcţionalitatea circuitului.

d) Tehnoredactaţi proiectul.

Studiu de caz

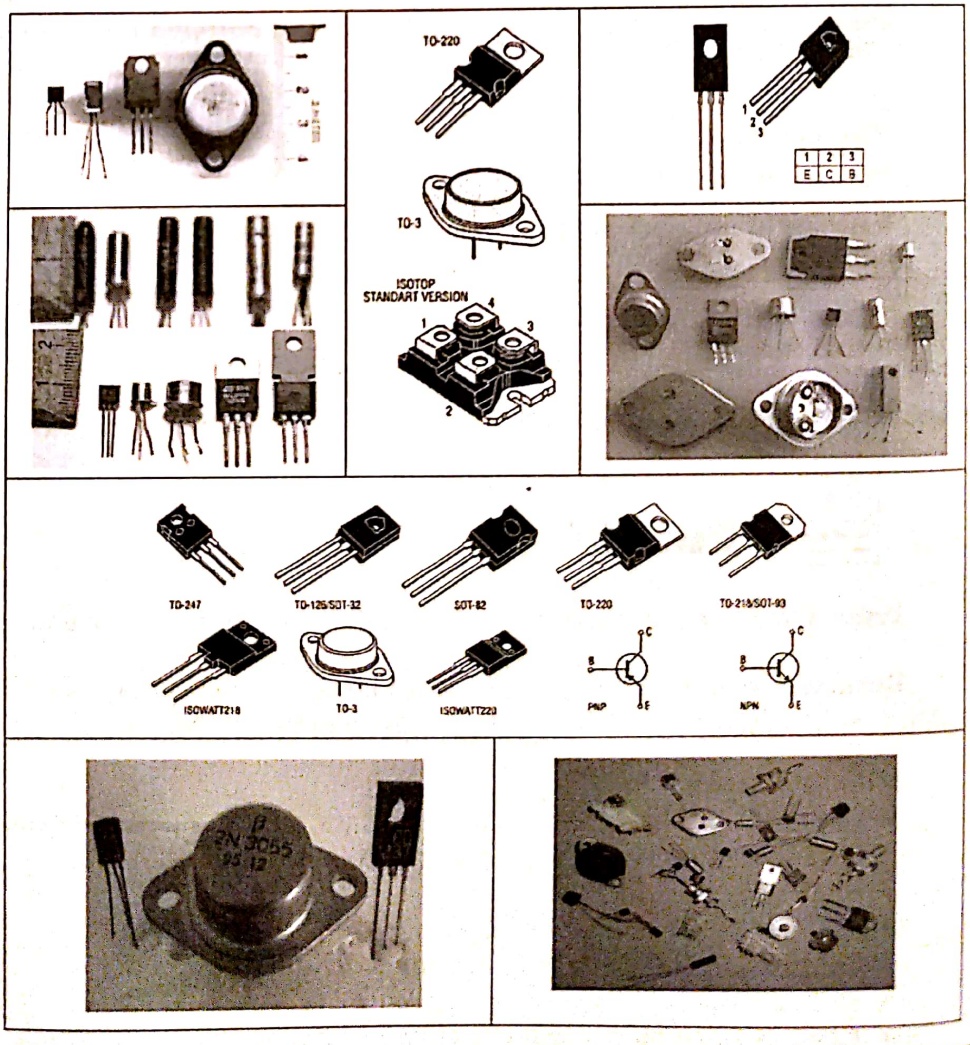
Identificarea tipurilor constructive de tranzistoare bipolare

Identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicaţii de specialitate, internet etc.), diferite tipuri constructive de tranzistoare bipolare.

Analizează fiecare componentă.

Compară componentele analizate.

Exemple:



Scanned with OKEN Scanner

4.6. Tranzistorul cu efect de câmp

Tranzistorul cu efect de câmp, TEC (cunoscut şi sub numele de **FET** – **F**ield **E**ffect **T**ransistor, în limba engleză), este un dispozitiv semiconductor foarte utilizat în echipamentele electronice moderne. El constă, în principal, dintr-un canal semiconductor, prin care trece curentul, a cărui rezistenţă este determinată de un câmp electric, care controlează astfel valoarea curentului prin dispozitiv.

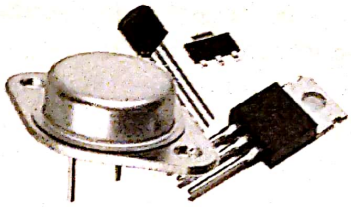


Fig. 4.68. *Tipuri constructive*

Observaţie *La conducţia curentului electric participă numai purtătorii de sarcină majoritari, de aceea, tranzistorul cu efect de câmp este un tranzistor unipolar.*

Ştiaţi că ...?

Tranzistorul cu efect de câmp a fost propus de Julius Liliendfel în 1926 şi 1933 sub formă de patent. Shockley, Brattain şi Bardeen au investigat şi ei tranzistorul cu efect de câmp în 1947, dar dificultăţile întâmpinate în realizarea acestuia i-au dus în schimb la dezvoltarea tranzistorului bipolar. Teoria tranzistorului cu efect de câmp a lui Shockley a fost publicată în 1952, dar tehnologia de procesare a materialelor nu era suficient de bine dezvoltată, astfel că doar în anul 1960 s-a reuşit fabricarea unui dispozitiv funcţional de către John Atalla.

4.6.1. Tranzistoare cu efect de câmp cu joncţiuni – TEC-J

Structura fizică

Tranzistorul cu efect de câmp cu joncţiuni este format dintr-un **bloc semiconductor de tip *p*** sau ***n*.** La extremităţile acestui bloc semiconductor se depun **două contacte ohmice** numite **sursă (S),** respectiv **drenă (D)** (fig. 4.69).

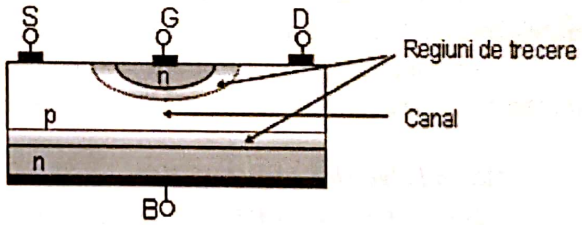


Fig. 4.69. *Structura fizică*

În zona centrală, între sursă şi drenă, se formează prin impurificare **o regiune de tip opus blocului semiconductor**, al cărei contact metalic formează **poarta (G)** – G de la gate – poartă în limba engleză.

Pe partea opusă a blocului semiconductor se creează o regiune de acelaşi tip cu cel al porţii, numită **substrat sau bază (B)**. Poarta şi baza sunt legate electric între ele.

Între poartă şi blocul semiconductor, precum şi între blocul semiconductor şi bază se formează joncţiuni *pn*.

Între zonele ***p*** şi ***n*** apar regiuni de trecere (sărăcite în purtători de sarcină).

Porţiunea din blocul central delimitată de regiunile de trecere se numeşte **canal.**

Principiul de funcţionare

a) La aplicarea unei tensiuni între sursă şi drenă, prin canalul format între ele şi mărginit de regiunile de trecere, circulă purtătorii de sarcină majoritari (corespunzători tipului semiconductorului, ***p*** sau ***n***).

Dispozitivul se comportă ca o rezistenţă de valoare constantă (curentul prin dispozitiv variază proporţional cu tensiunea U_{DS} aplicată).

b) La aplicarea unei **tensiuni pe poartă** astfel încât **joncţiunea *pn* să fie polarizată invers**, apare o **extindere a regiunilor de trecere** şi, deci, o **îngustare a canalului**. Cu cât tensiunea aplicată porţii este mai mare, cu atât joncţiunea va fi polarizată invers mai puternic, regiunile de trecere se vor extinde, iar canalul se va îngusta. Cu alte cuvinte, **prin varierea tensiunii inverse aplicate pe poartă se poate controla grosimea canalului şi, deci, conductivitatea acestuia şi, ca urmare, şi valoarea curentului electric prin dispozitiv.**

Întrucât potenţialul variază între sursă şi drenă, şi grosimea canalului variază proporţional cu acest potenţial. Astfel, grosimea canalului este mai mare spre sursă şi mai mică spre drenă, ca în figura 4.70.

Scanned with OKEN Scanner

Odată cu creşterea tensiunii U_{DS}, creşte valoarea intensităţii curentului prin dispozitiv, datorată creşterii numărului de purtători de sarcină majoritari.

Pe de altă parte, secţiunea canalului la capătul dinspre drenă se îngustează tot mai mult.

La un moment dat, creşterea acestei tensiuni duce la extinderea atât de mare a regiunilor de trecere astfel încât canalul se strangulează.

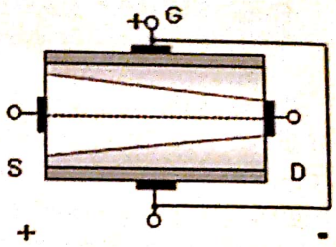


Fig. 4.70. Reprezentarea canalului în funcţie de tensiunea U_{DS}

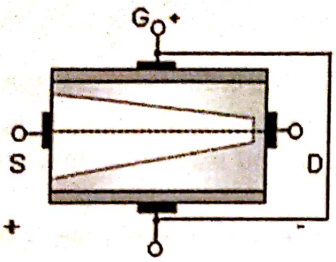


Fig. 4.71. Ştrangularea canalului la tensiuni U_{DS} mai mari decât tensiunea de străpungere

Din acest moment, **creşterea tensiunii U_{DS} nu mai determină creşterea valorii intensităţii curentului prin dispozitiv, care îşi păstrează valoarea maxim atinsă.** În această situaţie se spune că tranzistorul a ajuns în **regim de saturaţie.**

În figura 4.71 este reprezentat schematic fenomenul ştrangulării canalului odată cu creşterea tensiunii U_{DS} peste valoarea de saturaţie.

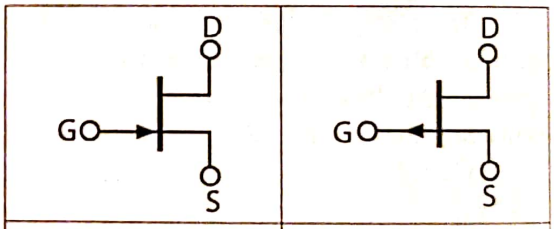
De reţinut!

Valoarea intensităţii curentului prin dispozitiv este determinată de:

- **tensiunea aplicată între drenă şi sursă, U_{DS}: $i_D = I_D(U_{DS})$**
- **tensiunea aplicată între poartă şi sursă, U_{GS}: $i_D = I_D(U_{GS})$**

În figura 4.72.a este ilustrat simbolul unui tranzistor TEC-J cu canal *n*, iar în figura 4.72.b, simbolul tranzistorului TEC-J cu canal *p*.

Observaţie: Ca şi în cazul tranzistorului bipolar, săgeata este îndreptată de la *p* la *n* şi desemnează joncţiunea *pn* poartă-canal.



***a)** TEC-J cu canal n* | ***b)** TEC-J cu canal p*

***Fig. 4.72.** Simbolul tranzistorului TEC-J*

Mărimi electrice caracteristice

Mărimile electrice care caracterizează tranzistorul cu efect de câmp cu joncţiuni sunt:

- **u_{DS}** – tensiunea drenă-sursă: determină valoarea intensităţii curentului prin dispozitiv, până ce acesta ajunge în saturaţie.
- **u_{GS}** – tensiunea poartă-sursă: permite controlul valorii intensităţii curentului prin dispozitiv;
- **i_D** – curentul de drenă: curentul prin dispozitiv;
- **i_G** – curentul de poartă: este un curent invers este foarte mic (de ordinul nA) şi se poate considera zero ($i_G \cong 0$);
- **i_S** – curentul de sursă: $i_S \cong i_D$ ($i_G \cong 0$);
- **R_i** – rezistenţa de intrare: foarte mare.

Caracteristici statice de funcţionare

a) **Caracteristica de ieşire:**

$i_D = f(u_{DS})$ pentru U_{GS} = constant este ilustrată în figura 4.73.

Pe această caracteristică se definesc regimurile de funcţionate ale TEC-J:

- Pentru tensiuni u_{DS} foarte mici (sub 0,1 V), caracteristicile se pot considera *liniare*. Tranzistorul se poate folosi ca o ***rezistenţă controlată în tensiune*** (prin u_{GS}) .
- Pentru tensiuni u_{DS} mai mari, distingem o *zonă neliniară*.

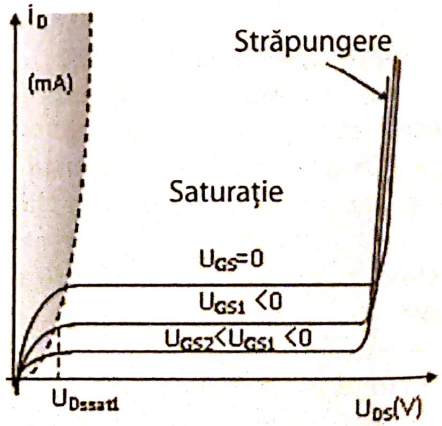


***Fig. 4.73.** Caracteristica de ieşire*

Scanned with OKEN Scanner

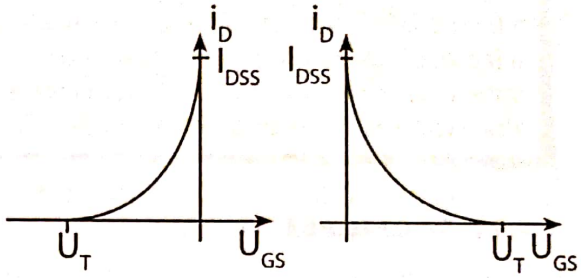
- Pentru tensiuni u_{DS} mai mari decât U_{DSsat} ajungem în ***zona de saturație.*** În această zonă, dispozitivul este folosit ca ***amplificator.***
- Pentru tensiuni u_{DS} foarte mari apare o creștere abruptă a curentului prin tranzistor, datorită *străpungerii* joncțiunii poartă-canal *prin multiplicare în avalanșă* a purtătorilor de sarcină.

b) **Caracteristica de transfer:**

$\mathbf{i_D = f(u_{GS})}$ pentru U_{GS} = constantă este ilustrată în figura 4.74.

La o tensiune de drenă constantă, atunci când tensiunea de poartă este zero, curentul este maxim, $\mathbf{I_{DSS}}$.

Valoarea acestui maxim este cu atât mai mare cu cât tensiunea de drenă este mai mare. La creşterea tensiunii de poartă, datorită polarizării inverse puternice, regiunile de trecere se extind şi curentul scade până la zero, atunci când regiunile de trecere se ating.



TEC-J cu canal n TEC-J cu canal p

Fig. 4.74. *Caracteristica de transfer*

De reținut!

Dispozitivul este folosit ca amplificator în zona $u_{DS} > u_{Dssat}$, adică în saturație. Aici $i_D = i_{Dsat}$, indiferent de u_{DS}. Pentru calcule de circuit se folosește aproximația parabolică:

$$I_D = I_{Dsat} = I_{DSS}\left(1 - \frac{U^2_{GS}}{U_T}\right)^2$$

Polarizarea TEC-J

În figura 4.75.a este prezentat cel mai simplu circuit de polarizare al unui TEC-J.

În acest circuit, polarizarea porții față de sursă este asigurată prin căderea de tensiune dată de $i_S \cong i_D$ pe R_S. Această tensiune este aplicată porții prin R_G.

$u_{GS} + i_D R_S + i_G R_G = 0$,

cum $i_G \cong 0 \Rightarrow \mathbf{u_{GS} = - R_S i_D}$.

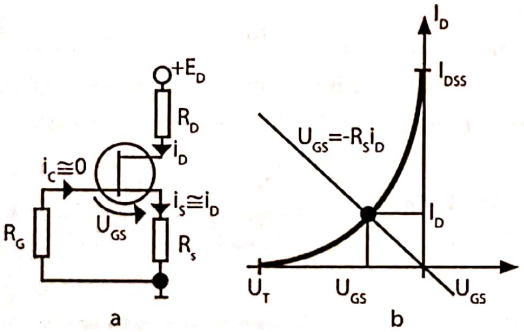


Fig. 4.75. *Circuit de polarizare cu rezistență în poartă (a); caracteristica de transfer și dreapta de sarcină (b)*

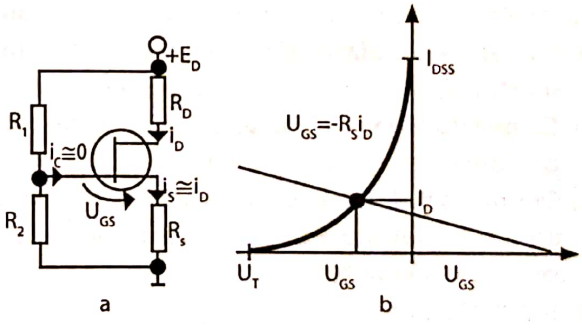


Fig. 4.76. *Circuit de polarizare cu cu divizor rezistiv în poartă (a); caracteristica de transfer și dreapta de sarcină (b)*

În figura 4.75.b este reprezentată caracteristica de transfer şi dreapta de sarcină.

În figura 4.76.a este prezentat un circuit de polarizare cu divizor rezistiv pe poartă. În acest caz,

$u_{GS} = E_{GG} - R_S i_D$, unde

$E_{GG} = E_{DD} \times R_2 / (R_1 + R_2)$.

În figura 4.76.b este reprezentată caracteristica de transfer şi dreapta de sarcină.

Scanned with OKEN Scanner

Știați că ...?

Acum mai bine de 50 de ani Gordon Moore, cofondatorul Intel, a remarcat faptul că densitatea tranzistoarelor din cipurile semiconductoare se dublează la fiecare doi ani. Observația lui s-a dovedit a fi nu doar corectă, ci şi foarte semnificativă, iar o consecință pe care utilizatorii o pot simți direct ar fi faptul că noile PC-uri sunt aproximativ de două ori mai puternice comparativ cu cele din generația anterioară, de acum 18-24 luni, lucru care a devenit cunoscut sub denumirea de legea lui Moore (cu alte cuvinte performanța sistemelor de calcul se dublează la fiecare 18-24 luni).

4.6.2. Tranzistoare MOS

Structura fizică

Tranzistorul MOS este un dispozitiv electronic bazat pe conducția curentului electric la suprafața semiconductorului.

Proprietățile conductive ale suprafeței semiconductorului sunt controlate de un câmp electric aplicat printr-un electrod izolat de semiconductor numit *poartă*.

În figura 4.78 este prezentată structura fizică a unui tranzistor MOS, cu canal de tip ***p***.

Într-un substrat semiconductor de tip ***n*** (sau ***p***) se creează, prin impurificare, două regiuni de tip ***p*** (respectiv de tip ***n***), numite *sursă* şi, respectiv, *drenă*, având fiecare câte un contact metalic. Pe suprafața semiconductorului se realizează un strat izolator de bioxid de siliciu, pe care se realizează contactul porții.

De reținut!

În structura acestui dispozitiv, în dreptul porții, se remarcă succesiunea: METAL (contacte) – OXID (strat izolator) – SEMICONDUCTOR (substrat), de unde vine denumirea de tranzistor MOS.

Principiul de funcționare

Se aplică o tensiune între drenă şi sursă, cu sursa polarizată direct. Vom urmări comportarea dispozitivului în următoarele situații:

a) **Cu poarta nepolarizată**: în circuit **nu apare curent**, deoarece substratul, nepolarizat separă sursa de drenă.

b) **Cu poarta legată la sursă**: nici în acest caz **nu apare curent** prin dispozitiv (joncțiunea este polarizată invers).

c) **Cu poarta polarizată separat**: tranzistorul se va comporta ca **un condensator plan**, elementele lui fiind (fig. 4.77.):

- contactele metalice;
- stratul izolator;
- substratul semiconductor.

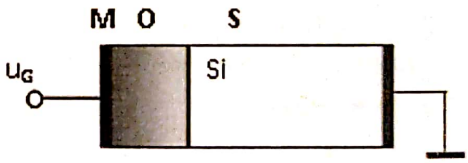


Fig. 4.77. *Comportarea unui tranzistor MOS cu poarta polarizată separat*

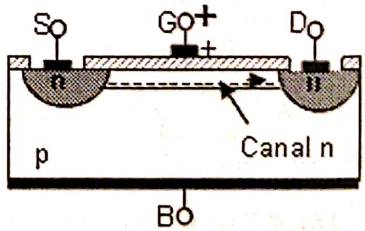


Fig. 4.78. *Structura fizică a unui tranzistor MOS, cu canal de tip* ***n***

Când se aplică o tensiune de polarizare porții, pe contactul metalic apar sarcini electrice, iar la suprafața substratului semiconductor apar sarcini de semn contrar.

Să presupunem că substratul este de tip ***p***. Dacă pe poartă se aplică o tensiune cu semnul „+", pe contact apar sarcini pozitive. Ca urmare, la suprafața semiconductorului apar sarcini negative (fig. 4.78). Golurile majoritare din semiconductorul de tip ***p*** dispar, luând naştere în acest fel o zonă superficială în care sunt concentrați electroni. S-a produs astfel **o inversiune locală** a tipului semiconductorului. Se spune că **s-a indus un canal** de tip ***n*** între sursă şi drenă.

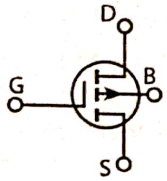
Prin acest canal începe să circule curentul electric între sursă şi drenă.

În funcție de structură, există două categorii principale de tranzistoare MOS:

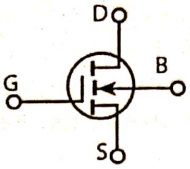
- cu canal indus;
- cu canal inițial.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul tranzistoarelor MOS cu canal indus, curentul de drenă apare numai atunci când tensiunea de poartă depăşeşte o anumită valoare de prag U_T.

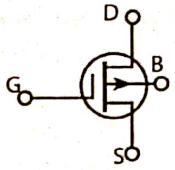


TEC-MOS cu canal indus de tip *p*

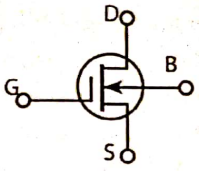


TEC-MOS cu canal idus de tip *n*

Fig. 4.79. *Simbolurile tranzistoarelor TEC-MOS cu canal indus*



TEC-MOS cu canal iniţial de tip *p*



TEC-MOS cu canal iniţial de tip *n*

Fig. 4.80. *Simbolurile tranzistoarelor TEC-MOS cu canal iniţial*

În figura 4.79 sunt ilustrate simbolurile aferente tranzistoarelor TEC-MOS cu canal indus de tip ***p***, respectiv TEC-MOS cu canal indus de tip ***n***.

În cazul tranzistoarelor MOS cu canal iniţial, din fabricaţie între sursă şi drenă există un canal conductor, astfel încât, chiar şi atunci când poarta nu este polarizată, la stabilirea unei diferenţe de potenţial între drenă şi sursă, prin canal va trece un curent nenul.

În figura 4.80 sunt ilustrate simbolurile aferente tranzistoarelor TEC-MOS cu canal iniţial de tip ***p***, respectiv TEC-MOS cu canal iniţial de tip ***n***.

Mărimi electrice caracteristice

Mărimile electrice care caracterizează tranzistorul MOS sunt aceleaşi cu cele ale tranzistorului cu efect de câmp cu joncţiuni:

- $\mathbf{u_{DS}}$ – tensiunea drenă – sursă: determină valoarea intensităţii curentului prin dispozitiv, până ce acesta ajunge în saturaţie.
- $\mathbf{u_{GS}}$ – tensiunea poartă – sursă: permite controlul valorii intensităţii curentului prin dispozitiv.
- $\mathbf{i_D}$ – curentul de drenă: curentul prin dispozitiv.
- $\mathbf{i_G}$ – curentul de poartă: este un curent invers este foarte mic (de ordinul nA) şi se poate considera zero ($i_G \cong 0$).
- $\mathbf{i_S}$ – curentul de sursă: $i_S \cong i_D$ ($i_G \cong 0$).
- $\mathbf{R_i}$ – rezistenţa de intrare: foarte mare.

Caracteristici statice de funcţionare

- **Caracteristica de ieşire:** $\mathbf{i_D = f(u_{DS})}$ pentru U_{GS} = constant este ilustrată în figura 4.81.

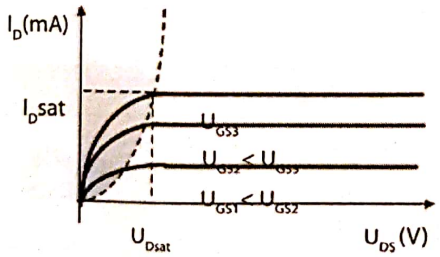


Fig. 4.81. *Caracteristica de ieşire*

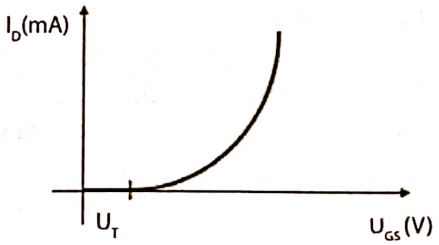


Fig. 4.82. *Caracteristica de transfer*

Dispozitivul este folosit ca amplificator în zona $u_{DS} > U_{DSsat}$. Aici $i_D = i_{Dsat}$, indiferent de u_{DS}.

- **Caracteristica de transfer:** $\mathbf{i_D = f(u_{GS})}$ pentru U_{GS} = constant este ilustrată în figura 4.82.

Polarizarea TEC-MOS

În figura 4.83 este prezentat un circuit de polarizare pentru un tranzistor TEC-MOS cu canal p indus.

Pentru tranzistoarele MOS cu canal indus, tensiunile de poartă şi de drenă au aceeaşi polaritate. Ca urmare, pentru polarizare se poate folosi o singură sursă de alimentare.

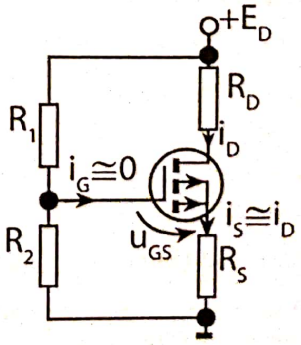


Fig. 4.83. *TEC-MOS cu canal **p** indus – circuit de polarizare*

Scanned with OKEN Scanner

Tensiunea aplicată pe poartă este determinată de divizorul rezistiv: $R_1, R_2 : E_{GG} = \frac{R_2 \cdot E_{DD}}{R_1 + R_2}$

4.6.3. Precauții în manipularea tranzistoarelor MOSFET

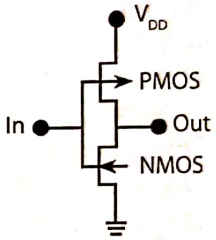
Poarta tranzistoarelor MOS este izolată față de substrat printr-un strat perfect izolator (dioxid de siliciu) de grosime extrem de mică (zecimi de micron). Datorită inexistenței unui drum rezistiv sau unei joncțiuni care să permită descărcarea sarcinii electrice, poarta poate ajunge ușor la tensiuni mai mari decât tensiunea de străpungere a dielectricului și tranzistorul se distruge ireversibil.

Tensiunea fatală poate fi produsă chiar prin simpla atingere cu mâna a terminalului porții, deoarece corpul omenesc poate fi echivalat cu un condensator de 100 pF în serie cu o rezistență de ordinul 1,5 kΩ care se încarcă electrostatic până la tensiuni de 20-30 000 V.

Încărcarea are loc în timpul activităților curente și este mai mare iarna, când atmosfera este mai uscată. Din acest motiv, tranzistoarele MOS și circuitele integrate care conțin asemenea tranzistoare sunt livrate în ambalaje antistatice și trebuie manipulate cu extremă precauție până la lipirea lor în circuit (îmbrăcăminte antistatică, brățara legată la masă, stație de lipit legată la masă etc.).

Odată lipit în circuit, șansele de distrugere ale tranzistorului MOS scad considerabil din cauza drumurilor rezistive oferite de celelalte elemente de circuit legate în poarta sa. Proiectantul circuitului trebuie să asigure (prin rezistoare între poartă și masă sau + V_{DD}) că poarta nu rămâne în gol dacă se scoate din soclu oricare din plăcile aparatului. În plus, majoritatea circuitelor de putere mică au încorporate diode de protecție, dar nu și tranzistoarele de putere.

Știați că ...?



CMOS (Complementare MOS) este o tehnologie de proiectare pentru circuite integrate (digitale și analogice), utilizând ambele tipuri de tranzistori MOS (nMOS și pMOS), care lucrează în colaborare. Porțile celor două tranzistoare MOS fiind legate împreună, unul dintre cele două tranzistoare este întotdeauna blocat, ținând seama de polaritatea semnalului aplicat pe grila comună. Astfel, în regim static nu va exista o cale directă de curent între + E_D și masă, singurul curent fiind cel invers, prin tranzistorul blocat. Rezultă că puterea de curent continuu (statică), consumată de circuitele CMOS este practic nulă.

Principalele avantaje ale circuitelor integrate realizate in tehnologia CMOS se referă la implementarea unor sisteme cu o mare complexitate funcțională în capsule de mici dimensiuni, în condițiile unui consum mic de putere și a unei fiabilități extrem de ridicate. CMOS reprezintă actualmente tehnologia cea mai răspândită pentru realizarea circuitelor integrate pe scară foarte largă.

4.6.4. Comparație între TEC-J și TEC-MOS

TEC-J	TEC-MOS
Curentul circulă **în volumul** semiconductorului.	Curentul circulă **la suprafața** semiconductorului.
Curentul de drenă **scade** la creșterea tensiunii de poartă, la tensiune de drenă constantă.	Curentul de drenă **crește** la creșterea tensiunii de poartă, la tensiune de drenă constantă.
Este comandat în tensiune.	Este comandat în tensiune.
Curentul de intrare foarte mic, de ordinul nA (practic se consideră egal cu zero).	Curentul de intrare foarte mic, de ordinul nA (practic se consideră egal cu zero).
Rezistența de intrare foarte mare (joncțiune polarizată invers).	Rezistența de intrare foarte mare (joncțiune polarizată invers).
Nu amplifică în curent, ci numai în tensiune.	Nu amplifică în curent, ci numai în tensiune.
Amplificarea în tensiune este mai mică decât la tranzistoarle bipolare.	Amplificarea în tensiune este mai mică decât la tranzistoare bipolare.
	Tranzistoarele TEC - MOS sunt mult mai fragile decât TEC -J, de aceea sunt necesare precauții la utilizare.

Scanned with OKEN Scanner

4.6.5. Comparație între tranzistorul cu efect de câmp și tranzistorul bipolar

Tranzistor cu efect de câmp	Tranzistorul bipolar
Controlul curentului care circulă prin dispozitiv se face prin modificarea conductanței canalului cu ajutorul unui câmp electric creat de o tensiune care se aplică pe poartă.	Controlul valorii curentului prin dispozitiv se realizează pe baza unor fenomene de injecție și transport de purtători de sarcină majoritari (emitorul injectează purtători de sarcină în bază, care sunt transportate prin difuzie până în colector).
La conducția curentului electric participă numai purtătorii majoritari (tranzistoare unipolare).	La conducția curentului electric participă și purtătorii majoritari și purtătorii minoritari (tranzistoare bipolare).
Este comandat în tensiune.	Este comandat în curent.
Curentul de intrare foarte mic, de ordinul nA (practic se consideră egal cu zero).	De obicei, curentul de intrare este curentul de bază (μA).
Rezistența de intrare foarte mare (joncțiune polarizată invers).	Valoarea rezistenței de intrare depinde de conexiune.
Nu amplifică în curent, ci numai în tensiune.	Amplifică și în curent și în tensiune.
Amplificarea în tensiune este mai mică.	
Dependența de temperatură a parametrilor tranzistorului TEC este mai redusă, deoarece nu intervin purtătorii de sarcină minoritari. Pericolul de ambalare termică este mult redus.	Purtătorii de sarcină minoritari, creați pe cale termică intervin în conducție. Există pericolul ambalării termice. Necesită circuite se stabilizare a PSF în raport cu variațiile de temperatură.
Nu există tensiune de decalaj.	Există tensiune de decalaj.
Sunt mai simplu de fabricat și mai ușor de folosit în circuitele integrate.	
Circuitele care folosesc TEC-uri sunt mai simplu de proiectat, folosind mai puține componente.	
Zgomot mai redus.	

Rezumat

1. Tranzistorul cu efect de câmp, TEC, este un dispozitiv semiconductor foarte utilizat în echipamentele electronice moderne care constă, în principal, dintr-un canal semiconductor, prin care trece curentul a cărui rezistență este determinată de un câmp electric, care controlează, astfel, valoarea curentului prin dispozitiv.

2. La conducția curentului electric participă numai purtătorii de sarcină majoritari, de aceea, tranzistorul cu efect de câmp este un tranzistor unipolar.

3. Tranzistorul MOS este un dispozitiv electronic bazat pe conducția curentului electric la suprafața semiconductorului.

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. La conducţia curentului electric în tranzistoarele cu efect de câmp participă:
a) numai electronii;
b) numai golurile;
c) un singur tip de purtători, şi anume purtătorii majoritari;
d) un singur tip de purtători, şi anume purtătorii minoritari.

2. Tranzistorul cu efect de câmp este un dispozitiv electronic cu trei electrozi:
a) sursă, drenă şi poartă;
b) emitor, colector şi bază;
c) anod, catod şi poartă;
d) emitor, colector şi poartă.

3. TEC – J este comandat în:
a) curent;
b) tensiune;
c) putere;
d) curent sau tensiune.

4. Tranzistorul cu efect de câmp:
a) amplifică în curent;
b) au amplificarea în curent foarte mare;
c) amplifică în curent numai cu poartă polarizată separat;
d) amplifică în tensiune.

5. În comparaţie cu tranzistoarele bipolare, tranzistoarele cu efect de câmp au:
a) curent de intrare mult mai mare;
b) curent de intrare mult mai mic;
c) impedanţa de ieşire mult mai mare;
d) impedanţa de intrare mult mai mică.

6. Tensiunea dintre poartă şi sursă U_{GS} în regim de funcţionare la TEC-J trebuie:
a) să fie pozitivă;
b) să fie negativă;
c) să polarizeze direct joncţiunea *pn*;
d) să polarizeze invers joncţiunea *pn*.

7. TEC cu poartă izolată cu canal iniţial au poarta formată:
a) dintr-o regiune semiconductoare de tip *p*;
b) dintr-o regiune semiconductoare de tip *n*;
c) dintr-un strat metalic;
d) dintr-un izolator.

8. Caracteristicile statice de ieşire ale TEC reprezintă dependenţa grafică dintre:
a) $I_D = f(U_{DS})$;
b) $I_D = f(U_G)$;
c) $I_G = f(U_G)$;
d) $I_D = f(I_G)$.

Scanned with OKEN Scanner

9. Funcționarea TEC-J este caracterizată de:
a) curent de intrare foarte mic și impedanță de intrare foarte mare;
b) curent de intrare foarte mare și impedanță de intrare foarte mare;
c) curent de intrare foarte mare și impedanță de intrare foarte mică;
d) curent de intrare foarte mic și impedanță de intrare foarte mică.

10. Analizând modul de polarizare al tranzistoarelor cu efect de câmp cu joncțiune din figura 4.84, precizează care din afirmațiile de mai jos sunt adevărate:
a) ambele tranzistoare sunt blocate;
b) ambele tranzistoare conduc;
c) tranzistorul Q_1 conduce și Q_2 este blocat;
d) tranzistorul Q_1 este blocat și Q_2 conduce.

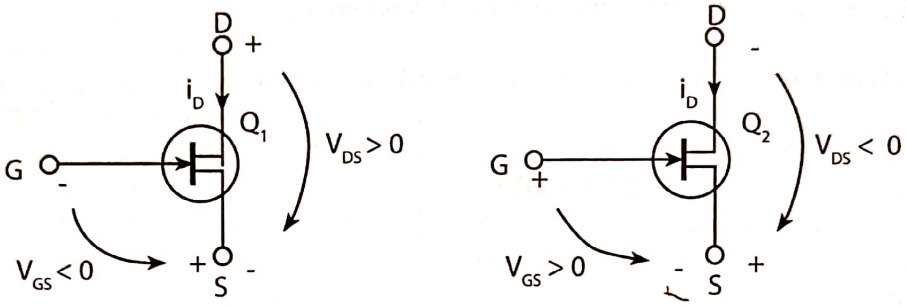


Fig. 4.84

II. Stabilește valoarea de adevăr a propozițiilor.

1. Tranzistoarele cu efect de câmp cu joncțiuni sunt comandate în curent.
2. Tranzistoarele cu efect de câmp în comparație cu tranzistoarele bipolare au curenți de intrare mult mai mici și impedanța de intrare mult mai mare.

III. Rezolvă următoarele probleme.

1. În figura 4.85 este prezentată structura fizică a unui tranzistor TEC MOS de tip *n*.
a) Definește tranzistorul TEC MOS.
b) Identifică elementele numerotate cu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.
c) Explică funcționarea acestui tip de tranzistor.
d) Reprezintă, pe fișa de evaluare, simbolul acestui tranzistor.

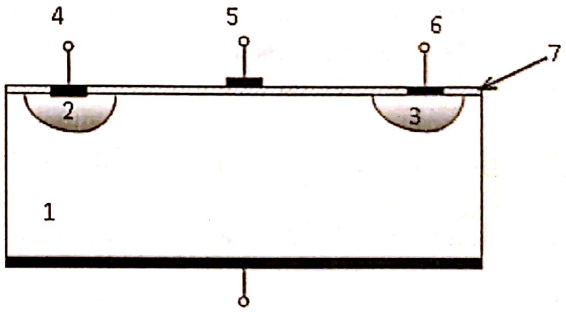


Fig. 4.85

2. Se consideră tranzistoarele cu efect de câmp de tip MOS.
a) Reprezintă simbolul acestor tranzistoare.
b) Compară tranzistoarele cu efect de câmp de tip MOS cu tranzistoarele bipolare, în funcție de:
- tipul de comandă al tranzistorului;
- curentul de intrare;
- impedanța de intrare;
- frecvența de lucru;
- dependența de temperatură.

c) Indică dezavantajele tranzistoarelor cu efect de câmp de tip MOS.
d) Specifică ce precauții speciale se iau la utilizarea tranzistoarelor cu efect de câmp de tip MOS.

Scanned with OKEN Scanner

3. În figura 4.86 sunt reprezentate simbolurile unor componente electronice.

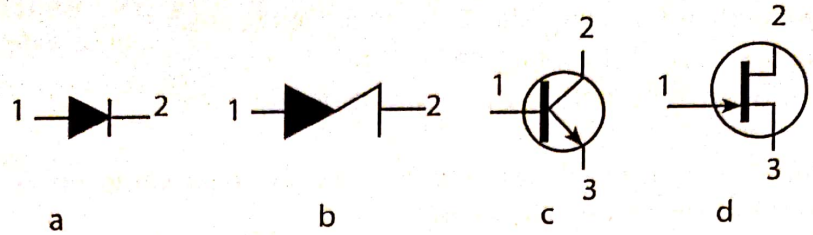


Fig. 4.86

a) Precizează denumirea componentelor reprezentate.
b) Indică denumirea terminalelor pentru fiecare componentă.
c) Precizează câte o utilizare tipică pentru fiecare componentă.

4. Se consideră circuitul din figura 4.87, în care tranzistorul are următorii parametri:

$I_{DSS} = 5{,}6$ mA; $U_T = -4$ V.

a) Reprezintă, pe schemă, curenţii şi tensiunile.
b) Identifică tipul tranzistorului.
c) Determină:
U_0 dacă $U_i = 0$;
U_0 dacă $U_i = 10$ V;
U_i dacă $U_0 = 0$.

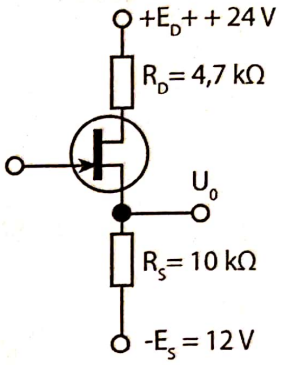


Fig. 4.87

5. În montajul din figura 4.88, tranzistorul TECJ are următorii parametri:

$I_{DSS} = 6$ mA, $U_T = -6$ V.

În plus, se cunosc: $+E_D = 24$ V, $-E_s = -12$ V, $R_S = 8$ kΩ, $R_D = 6$ kΩ.

Determină:

a) Tensiunea U_0 dacă $U_1 = 0$.
b) Tensiunea U_0 dacă $U_1 = 5$ V.
c) Tensiunea U_1 dacă $U_0 = 0$.

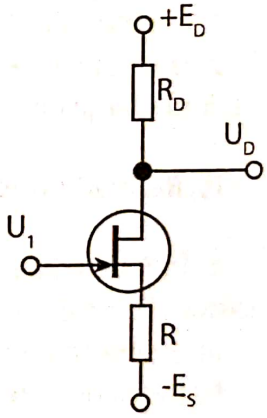


Fig. 4.88

6. Se consideră circuitul din figura 4.89, în care se cunosc:

$I_{DSS} = 9$ mA, $U_T = -3$ V, $V_{DD} = 12$ V, $R_S = 1$ kΩ, $R_D = 3$ kΩ, $R_G = 1$ MΩ.

Determină punctul static de funcţionare.

7. Se consideră circuitul de polarizare a unui tranzistor TECJ din figura 4.89. Tranzistorul are următorii parametri:

$I_{DSS} = 6$ mA, $U_T = -4$ V. Tensiunea de alimentare este $E_D = 30$ V, $R_G = 1$ MΩ. Se doreşte obţinerea unui punct de funcţionare cu $I_D = 3$ mA şi $U_{DS} = 10$ V. Determină valorile rezistenţelor R_S şi R_D, care permit obţinerea acestui punct de funcţionare.

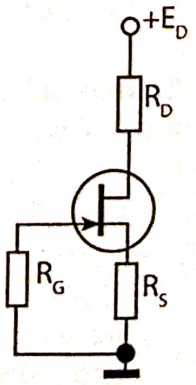


Fig. 4.89

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

TRANZISTOARE CU EFECT DE CÂMP

Obiective

- Trasarea caracteristicilor statice pentru tranzistoare cu efect de câmp cu poartă joncțiune TEC - J
- Trasarea caracteristicilor statice pentru tranzistoare cu efect de câmp cu poartă izolată TEC - MOS

Desfășurarea lucrării

1. Tranzistorul cu efect de câmp (TEC – J)

Trasarea caracteristicilor statice de ieșire

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 4.90;
- reglează sursa S_1 astfel încât valoarea tensiunii U_{GS} să fie **0 V** și menține această valoare constantă;
- reglează sursa S_2 pentru ca voltmetrul V_2 să indice succesiv valorile prezentate în tabelul 4.14 pentru tensiunea U_{DS};
- pentru fiecare valoare a tensiunii U_{DS} măsoară cu ajutorul miliampermetrului intensitatea curentului I_D.

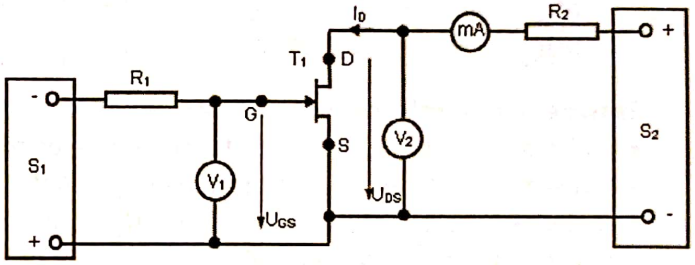


Fig. 4.90

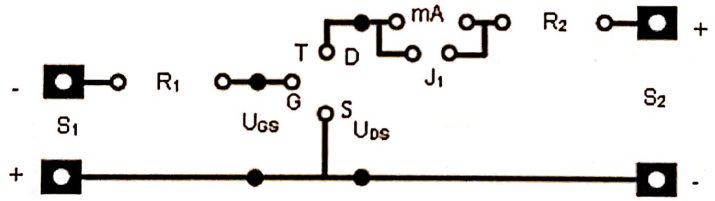


Fig. 4.91

Componente, aparate, elemente de conectare			
Mijloace utilizate	**Denumire**	**Notarea în circuit**	**Valoare/caracteristici/tip**
Componente	Rezistoare	R_1	100 kΩ
		R_2	1 kΩ
	Tranzistoare	T_1	BF 245
		T_2	ROS 04
Aparate	Multimetru digital sau analogic	V_1, V_2	
		mA	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată și reglabilă	S_1, S_2	0 ÷ 24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Scanned with OKEN Scanner

- înscrie valorile măsurate în tabelul 4.14, în coloana corespunzătoare;
- folosind sursa S_1, reglează, succesiv, valorile tensiunii U_{GS} la **– 2 V** şi, respectiv, **– 4 V**. Pentru fiecare valoare a tensiunii U_{GS} modifică tensiunea U_{DS} din volt în volt, începând de la **0 V** până la **10 V**. Pentru fiecare valoare a tensiunii U_{DS} măsoară intensitatea curentului I_D, iar valoarea obţinută înscrie-o în tabelul 4.14, în linia şi coloana corespunzătoare.
- cu valorile numerice din tabelul 4.14, trasează cele trei caracteristici statice de ieşire: $I_D = f(U_{DS})$ pentru $U_{GS} = 0\,V$, $U_{GS} = -2\,V_{DD}$ şi $U_{GS} = -4\,V$ în acelaşi sistem de axe de coordonate din figura 4.92.

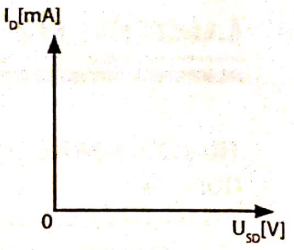


Fig. 4.92

Tabelul 4.14

	U_{DS} [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{GS} = 0\,V$	I_D [mA]											
$U_{GS} = -2\,V$	I_D [mA]											
$U_{GS} = -4\,V$	I_D [mA]											

Trasarea caracteristicilor de transfer

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 4.90;
- reglează sursa S_2 astfel încât tensiunea $U_{DS} = 6\,V$ şi menţine constantă această valoare;
- reglează sursa S_1 astfel încât tensiunea U_{GS} să ia valorile înscrise în tabelul 4.15 şi pentru fiecare valoare a tensiunii U_{GS} măsoară curentul I_D;
- înscrie valorile intensităţii curentului I_D în coloana corespunzătoare a tabelului 4.15;
- stabileşte, cu ajutorul sursei S_2, valoarea tensiunii U_{DS} la **12 V**;
- măsoară intensitatea curentului I_D pentru fiecare valoare a tensiunii U_{GS} înscrisă în tabelul 4.15.

Tabelul 4.15

	U_{GS} [V]	0	– 0,5	– 1	– 1,5	– 2	– 2,5	– 3	– 3,5	– 4
$U_{DS} = 6\,V$	I_D [mA]									
$U_{DS} = 12\,V$	I_D [mA]									

Cu valorile din tabelul 4.15, trasează caracteristicile statice de transfer $I_D = f(U_{GS})$ pentru tensiunile $U_{DS} = 6\,V$ şi $U_{DS} = 12\,V$ în acelaşi sistem de axe de coordonate din figura 4.93.

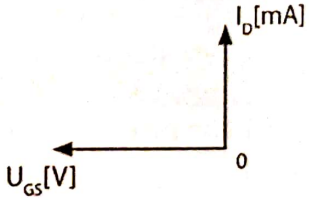


Fig. 4.93

2. Tranzistorul cu efect de câmp (TEC – MOS)

Trasarea caracteristicilor statice de ieşire $I_D = f(U_{DS}) \div U_{GS} = ct$

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 4.94;
- reglează sursa S_1 astfel încât tensiunea U_{GS} să ia succesiv valorile **0 V, – 2 V, – 4 V**;
- pentru fiecare valoare (**0 V, – 2 V, – 4 V**) a tensiunii, reglează sursa S_2 astfel încât tensiunea U_{DS} să ia valorile indicate în tabelul 4.16. Pentru fiecare valoare a tensiunii U_{DS} măsoară intensitatea curentului I_D cu ajutorul miliampermetrului, iar valorile acestuia înscrie-le în tabelul 4.16;
- pe baza datelor obţinute, trasează caracteristicile statice de ieşire $I_D = f(U_{DS})$ pentru $U_G = ct$ în acelaşi sistem de axe de coordonate din figura 4.96.

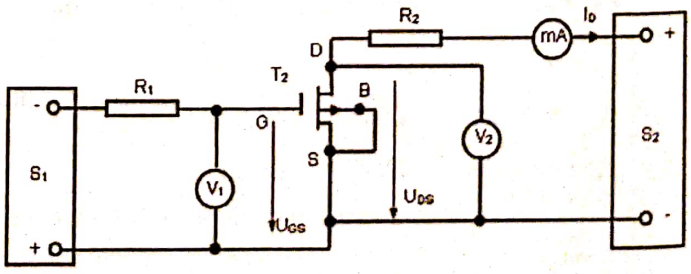


Fig. 4.94

Scanned with OKEN Scanner

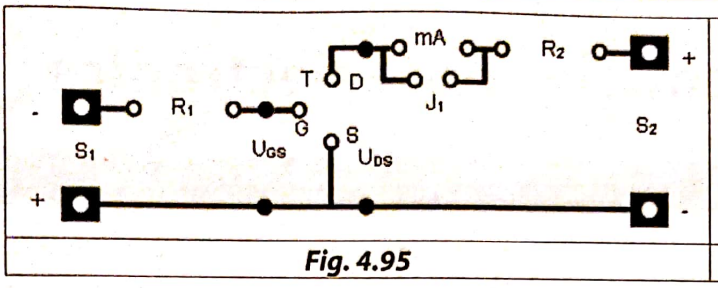


Fig. 4.95

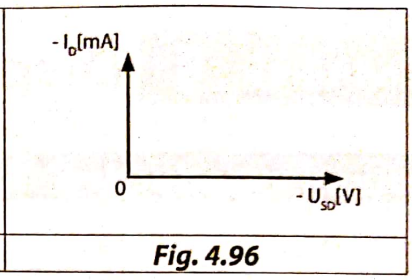


Fig. 4.96

Tabelul 4.16

	U_{DS}[V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{GS} = 0$ V	I_D [mA]											
$U_{GS} = -2$ V	I_D [mA]											
$U_{GS} = -4$ V	I_D [mA]											

Studiu de caz

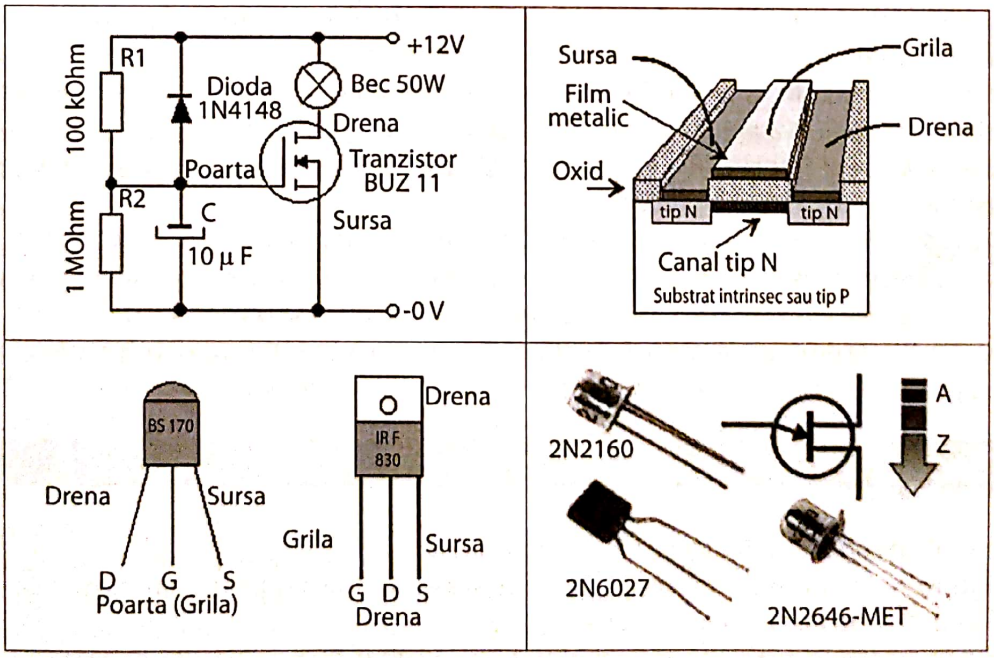
Identificarea tipurilor constructive. Aplicații practice

Identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, Internet etc.), diferite tipuri constructive de tranzistoare.

Analizează fiecare componentă.

Compară componentele analizate.

Exemple:



Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 5 Dispozitive optoelectronice

Noțiuni introductive

Dispozitivele optoelectronice (fig. 5.1) reprezintă o categorie de dispozitive electronice a căror funcționare presupune **existența radiației electromagnetice în domeniul optic**, fie ca factor perturbator, fie ca rezultat al regimului electric. Transformarea energiei luminoase în energie electrică și invers se face în mod direct, fără intermediul altor forme de energie.

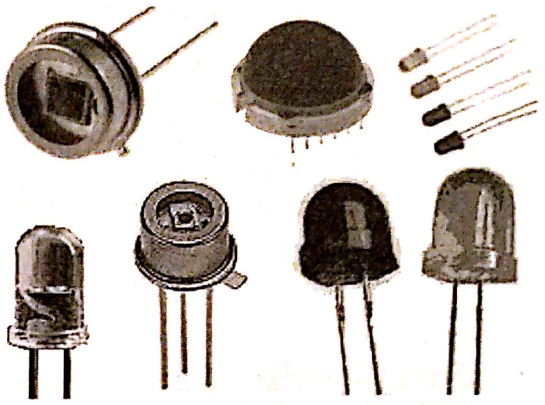


Fig. 5.1. *Tipuri constructive*

Fenomenele fizice fundamentale care stau la baza funcționării dispozitivelor optoelectronice sunt: *absorbția luminii (a radiației electromagnetice) în corpul solid* și *recombinarea radiativă a purtătorilor de sarcină în semiconductoare.*

Absorbția radiației electromagnetice duce la creșterea energiei interne a corpului solid; această creștere de energie se poate localiza la nivelul rețelei de atomi sau la nivelul electronilor.

Absorbția de către electroni a energiei radiației electromagnetice duce la creșterea energiei acestora, astfel încât o parte dintre ei pot părăsi legăturile chimice prin care sunt legați de atomi, devenind, în felul acesta, electroni liberi.

Fenomenul de creare de purtători de sarcină sub acțiunea radiației electromagnetice se numește ***efect fotoelectric.***

În cazul metalelor, electronii pot părăsi corpul căruia îi aparțin și, în acest caz, avem de-a face cu *efectul fotoelectric extern.* Un exemplu de utilizare a efectului fotoelectric extern este emisia de electroni de către catodul din interiorul tubului catodic. În cazul semiconductoarelor, electronii părăsesc legăturile covalente, astfel luând naștere perechi electron-gol. În această situație, avem de-a face cu *efectul fotoelectric intern.*

Ca urmare a efectului fotoelectric, unele materiale semiconductoare își modifică proprietățile electrice, fenomen cu o deosebită aplicabilitate practică.

Fenomenul de emisie a radiației luminoase se mai numește și luminescență. Emisia de lumină în semiconductoare de datorează *recombinării radiative* a purtătorilor de sarcină. Acest fenomen nu apare în orice semiconductor. În situațiile studiate până acum, energia eliberată în urma proceselor de recombinare era cedată rețelei cristaline, sub formă de energie termică. Există, însă, anumite materiale în cazul cărora, în urma recombinării purtătorilor de sarcină, energia este eliberată sub formă de energie luminoasă.

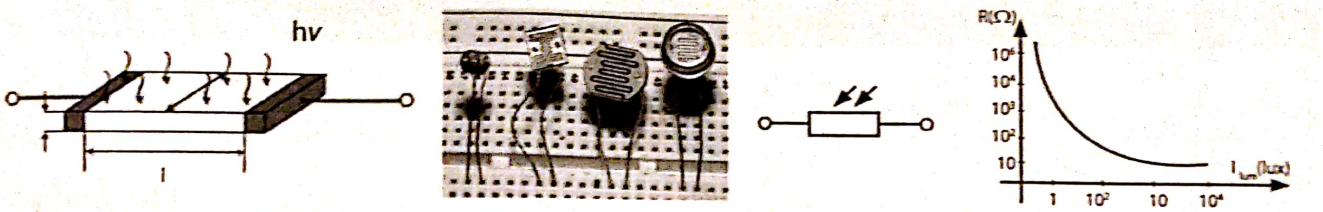
5.1. Fotorezistorul

Cel mai simplu dispozitiv optoelectronic este fotorezistorul.

Fotorezistorul este un rezistor realizat dintr-un material semiconductor omogen, a cărui rezistență se modifică sub influența unui flux luminos incident.

Din punct de vedere constructiv, fotorezistorul este realizat dintr-o plăcuță de material semiconductor omogen, prevăzută la capete cu contacte ohmice, ca în figura 5.2.a și b. Uneori, materialul semiconductor este depus pe o plăcuță din material izolant, cum ar fi, de exemplu, ceramica. În acest din urmă caz, se obține o suprafață mai mare de incidență a luminii și, deci, o sensibilitate mai mare. Structura este protejată prin acoperire cu un lac sau prin încapsulare în material plastic. Materialele cele mai des folosite pentru obținerea fotorezistoarelor sunt sulfura sau seleniura de cadmiu.

Scanned with OKEN Scanner



a) Structura fizică a fotorezistorului — *b) Fotorezistoare* — *c) Simbolul fotorezistorului* — *d) Variația rezistenței fotorezistorului în funcție de iluminare*

Fig. 5.2

În figura 5.2.c este prezentat simbolul fotorezistorului.

Principalii parametri ai fotorezistorului sunt:

- **rezistența la întuneric**, care depinde de dimensiunile geometrice ale plăcuței și de materialul semiconductor din care a fost realizată, precum și de gradul de impurificare a acestuia;
- **rezistența în condiții de iluminare**, care depinde de iluminare, ca în figura 5.2.d;
- **inerția fotorezistorului**, care reprezintă timpul necesar atingerii valorii staționare a rezistenței, în condițiile unui salt al fluxului luminos.

Fotorezistoarele se utilizează în instalații de alarmă, circuite de avertizare, comutator automat de lumină etc. Principalul dezavantaj este inerția relativ mare.

5.2. Fotodioda

Fotodioda este un dispozitiv optoelectronic realizat dintr-o joncțiune *pn* fotosensibilă, *polarizată invers*.

Pastila semiconductoare care conține joncțiunea se montează într-o capsulă prevăzută cu o **fereastră transparentă**, prin intermediul căreia fluxul luminos are acces la suprafața semiconductorului (fig. 5.3.a). În urma absorbției energiei luminoase, la suprafața semiconductorului se generează perechi electron-gol care, apoi, prin difuziune, se răspândesc în tot volumul semiconductorului.

În cazul polarizării inverse, contribuția purtătorilor generați prin efect fotoelectric la curentul prin joncțiune devine semnificativă, cu atât mai mult cu cât intensitatea luminii incidente este mai mare.

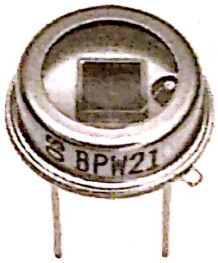


***Fig. 5.3.a** Fotodioda*

Simbol

În figura 5.3.b este ilustrată structura fizică a unei fotodiode, iar figura 5.3.c prezintă simbolul acesteia.

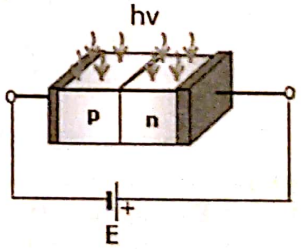


***Fig. 5.3.b** Structura fizică a diodei*

În condiții de întuneric, curentul prin dispozitiv, I_0, este datorat perechilor electron-gol generate pe cale termică și nu depinde de tensiunea de polarizare inversă aplicată joncțiunii.

În prezența luminii apare o generare suplimentară de purtători de sarcină și, deci, un curent suplimentar, I_L. Ca urmare, curentul prin fotodioda iluminată are expresia: $I = I_0 + I_L$.

***Fig. 5.3.c** Simbolul fotodiodei*

Deoarece curentul prin diodă nu depinde de tensiunea de polarizare (inversă) aplicată la borne (între anod și catod), se poate spune că fotodioda se comportă ca un generator de curent comandat de fluxul luminos.

La întuneric, curentul fotodiodei este de ordinul nanoamperilor, iar la iluminare crește până la ordinul microamperilor.

Principalii parametri ai fotodiodei sunt:

- **Intensitatea curentului la întuneric**, I_s, este valoarea curentului invers al joncțiunii *pn* în absența fluxului luminos și la polarizarea inversă specificată (de ordinul 1÷50 nA la tensiuni de cca. 30 V);
- **Sensibilitatea fotodiodei** este definită de raportul între variația curentului prin dispozitiv și iluminare;
- **Tensiunea inversă maxim admisă**.

Scanned with OKEN Scanner

În figura 5.4 sunt prezentate caracteristicile statice ale unei fotodiode din siliciu (ROL–021).

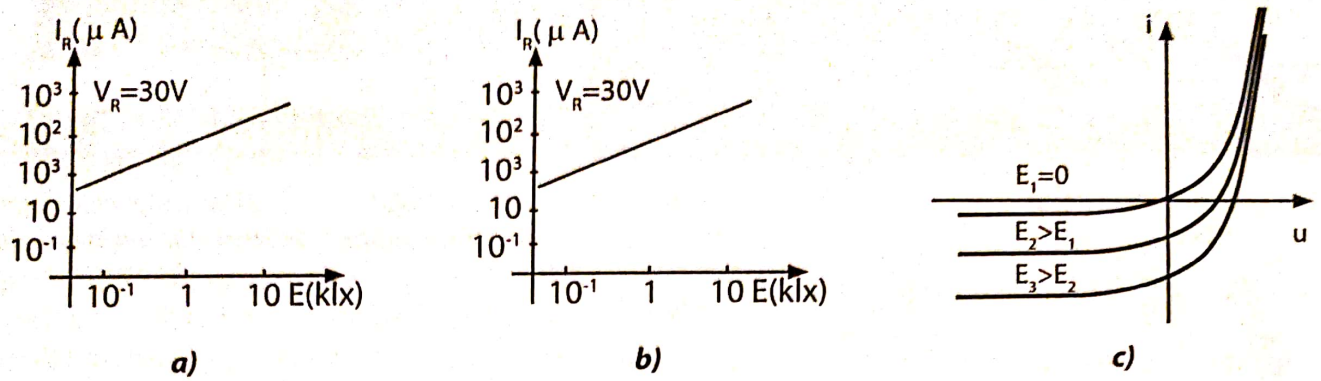
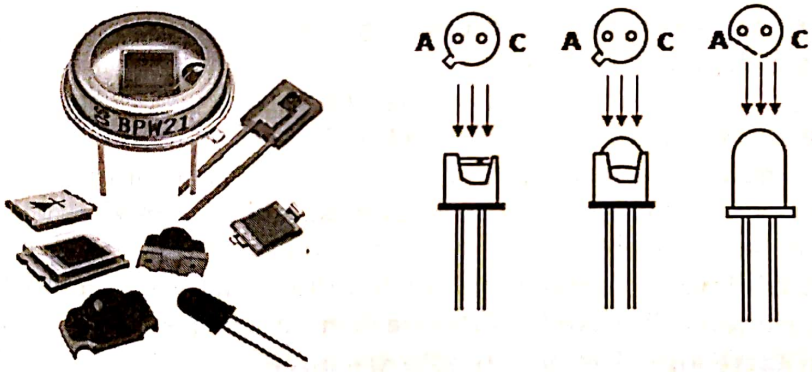


Fig. 5.4.

Figura 5.4.a prezintă dependența curent–tensiune pentru diferite valori ale iluminării (E), iar figura 5.4.b prezintă dependența curent–iluminare, pentru o tensiune inversă dată. În figura 5.4.c este ilustrată o reprezentare calitativă a caracteristicii curent–tensiune pentru ambele regimuri de polarizare ale fotodiodei.

Aspect fizic

În figura 5.5 sunt prezentate cele mai utilizate tipuri de capsule pentru fotodiode.
Fotodiodele se realizează și sub formă de SMD-uri.



***a)** Tipuri constructive* ***b)** Tipuri de capsule*

***Fig. 5.5.** Simbolul fotodiodei*

O caracteristică foarte importantă a fotodiodei este cea de directivitate. Ea reprezintă variația relativă a curentului prin diodă în funcție de unghiul de incidență al luminii.

În figura 5.6 se indică modul în care o fotodiodă trebuie montată în circuit. Semnalul se culege între punctul A și masă. Prezența rezistorului R este neapărat necesară pentru limitarea curentului.

Fotodiodele se utilizează ca detectoare de lumină.

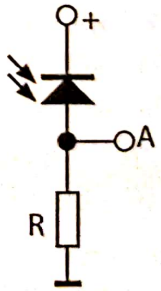


***Fig. 5.6.** Montarea în circuit*

Observație

Fotodiodele le găsim în instalații de automatizări, în dispozitive de protecția muncii, în sisteme de alarmă, în cititoare de coduri, în sistemele de comunicații optice, în aparatele de fotografiat, în telecomenzi etc.
Ca și în cazul diodelor obișnuite, este absolut obligatorie montarea rezistorului R, în serie cu fotodioda, în scopul limitării curentului prin circuit.

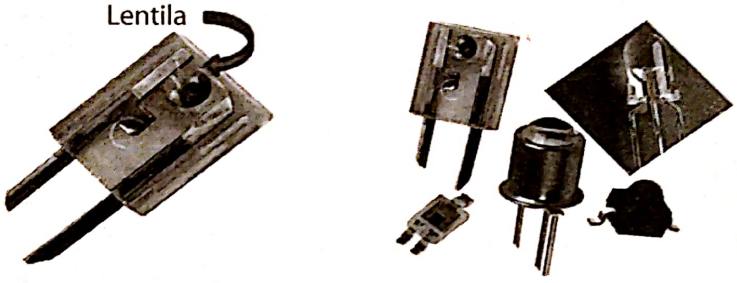
Scanned with OKEN Scanner

5.3. Fototranzistorul

Fototranzistorul este un dispozitiv optoelectronic realizat pe o structură de tranzistor, al cărui curent de colector este comandat de un flux luminos. Astfel, baza își pierde rolul de comandă și poate fi lăsată în gol.

Observație *Unele fototranzistoare sunt prevăzute și cu electrodul bazei, în vederea polarizării și a stabilizării punctului static de funcționare.*

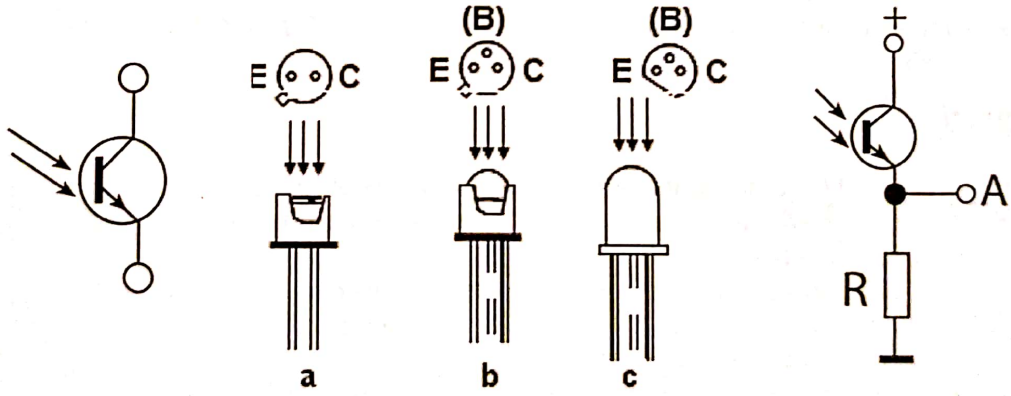
Fototranzistorul se plasează într-o capsulă prevăzută cu o fereastră în care este montată o lentilă (fig. 5.7.a), cu scopul de a focaliza fluxul luminos pe regiunea fotosensibilă a structurii semiconductoare. În figura 5.7.b sunt prezentate diferite tipuri de fototranzistoare.



a) Fototranzistor *b) Tipuri constructive*

Fig. 5.7

Simbolul fototranzistorului este ilustrat în figura 5.8.a, iar în figura 5.8.b sunt ilustrate câteva exemple de capsule și configurații de pini pentru fototranzistoare.



a) Simbol *b) Tipuri de capsule* *c) Conectarea în circuit*

Fig. 5.8

Curentul de colector poate varia de la câțiva microamperi, la întuneric, până la câțiva miliamperi, atunci când este iluminat puternic. Caracteristicile statice de funcționare ale fototranzistorului arată dependența $i_C = i_C(u_{CE})$ pentru diferite valori ale intensității luminoase și au aceeași alură cu caracteristicile de ieșire ale unui tranzistor obișnuit, pentru diferite valori ale curentului de bază.

În circuitele electronice, fototranzistorul se montează, de preferință, în conexiune emitor comun; polarizarea se face la fel ca la un tranzistor obișnuit, iar semnalul se culege între punctul A și masă, ca în figura 5.8.c.

Observație *Fototranzistorul are o sensibilitate mult mai mare decât fotodioda, datorită proprietății de amplificare.*

Scanned with OKEN Scanner

5.4. Dioda electroluminescentă

Definiție

Dioda electroluminescentă este un dispozitiv semiconductor care conține o joncțiune *pn* polarizată direct, realizată dintr-un material care are proprietăți speciale (**LED** – prescurtarea denumirii dispozitivului; în limba engleză: **L**ight **E**mitting **D**iode).

Specific acestor materiale este faptul că, în urma recombinării purtătorilor de sarcină, electronii care trec din banda de conducție în cea de valență pierd, în felul acesta, o parte din energie, pe care o eliberează sub formă de **radiație electromagnetică vizibilă.**

Dioda electroluminescentă este, prin urmare, un convertor de energie, cu ajutorul căruia energia electrică este transformată în energie luminoasă.

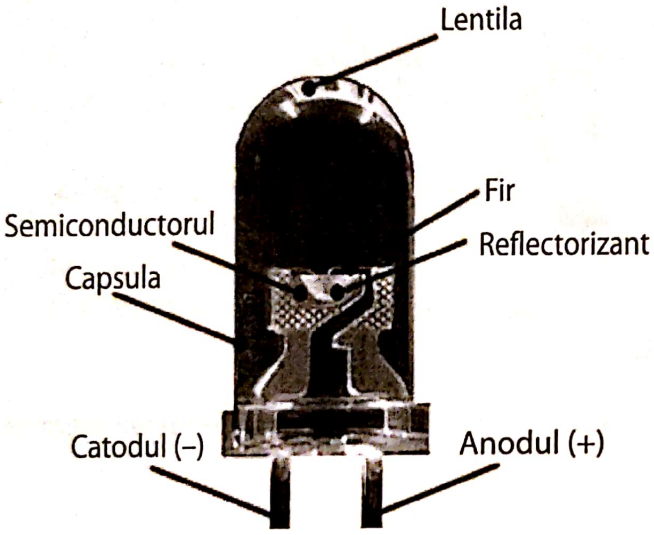


Fig. 5.9. *Elementele constructive ale unui LED*

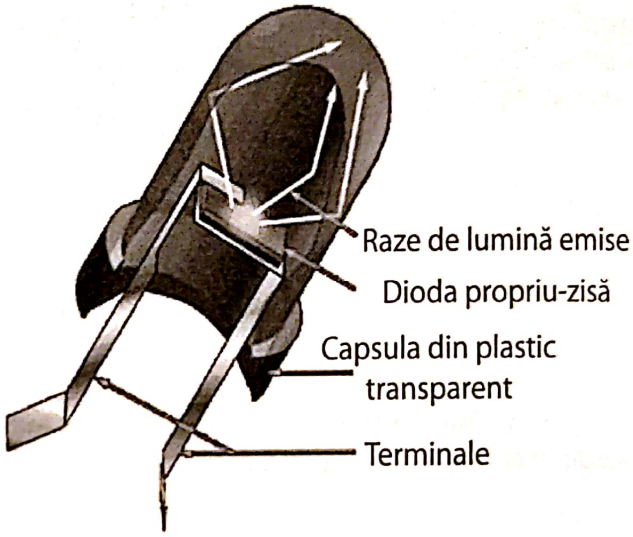


Fig. 5.10. *Secțiune prin LED*

Parametri

Parametrii electrici ai LED-urilor sunt identici cu cei ai diodelor obișnuite:

- **curentul direct** nu trebuie să depășească valoarea maximă specificată în catalog (în jur de 50 mA pentru LED-urile obișnuite);
- **tensiunea de deschidere** reprezintă diferența de potențial ce trebuie aplicată la bornele diodei pentru ca aceasta să emită lumină; variază între 1,5 și 2,3 V, în funcție de culoarea luminii emise, respectiv de materialul din care este realizată;
- **tensiunea inversă maxim admisă** pentru ca dioda să nu se distrugă.

Un parametru important al acestor tip de diode este **caracteristica spectrală**, care indică **culoarea** radiației luminoase.

Tabelul 5.1

Material	Lungimea de undă (nm)	Culoare
GaAs:Zn	910	Infraroșu
GaAsP.4	610	Roșu
GaAsP.5	650	Portocaliu
GaAsP.85:N	590	Galben
GaP:N	560	Verde

Scanned with OKEN Scanner

Lungimea de undă a radiației luminoase emise și, deci, culoarea acesteia depind de natura materialului din care a fost construit dispozitivul. În tabelul 7.1 sunt indicate diferite materiale din care se construiesc diode electroluminescente, lungimea de undă a radiației emise și culoarea corespunzătoare.

În figura 5.11 a și b se prezintă două caracteristici esențiale pentru un LED, tip ROL-02, realizat din GaAsP: variația relativă a intensității luminoase în funcție de curentul direct și caracteristica spectrală.

Din cea de a doua caracteristică, rezultă că maximul răspunsului luminos are loc pentru $\lambda = 667$ nm, ceea ce corespunde culorii roșii.

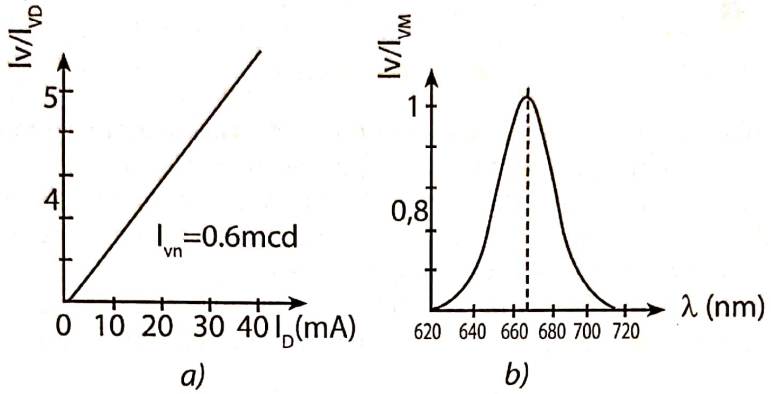


Fig. 5.11. *Caracteristicile LED-ului ROL-02:*
a) *intensitatea luminoasă în funcție de curentul direct;*
b) *caracteristica spectrală*

Simbol. Aspect fizic

În figura 5.12 este ilustrat simbolul diodei electroluminescente.

Capsula LED-urilor simple poate fi cilindrică, cubică, prismatică, semisferică, având suprafața emisivă luminoasă sub formă de cerc, dreptunghi, triunghi, pătrat, putând fi mată sau transparentă (fig. 5.13.a).

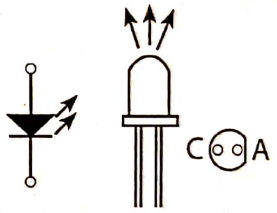
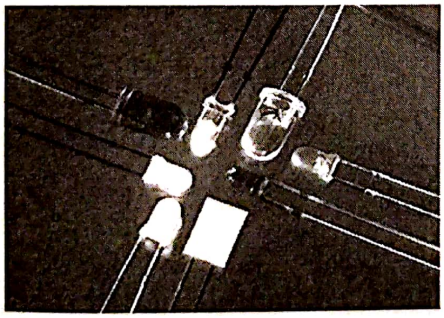
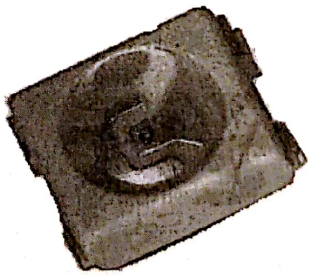


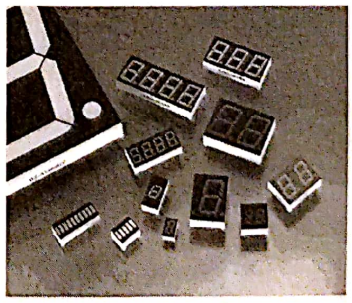
Fig. 5.12. *Simbol. Aspect fizic. Semnificația terminalelor*



a) *Tipuri constructive*



b) *LED-uri în tehnologie SMD*



c) *Sisteme de afișare*

Fig. 5.13

LED-uri și în tehnologie SMD (fig. 5.13.b).

În figura 5.14 sunt ilustrate ambele tehnologii de montare a diodelor electroluminescente: montarea în gaură și montarea pe suprafață.

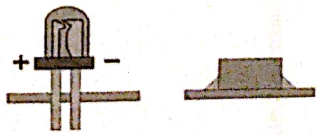


Fig. 5.14. *Montarea LED-urilor*

Scanned with OKEN Scanner

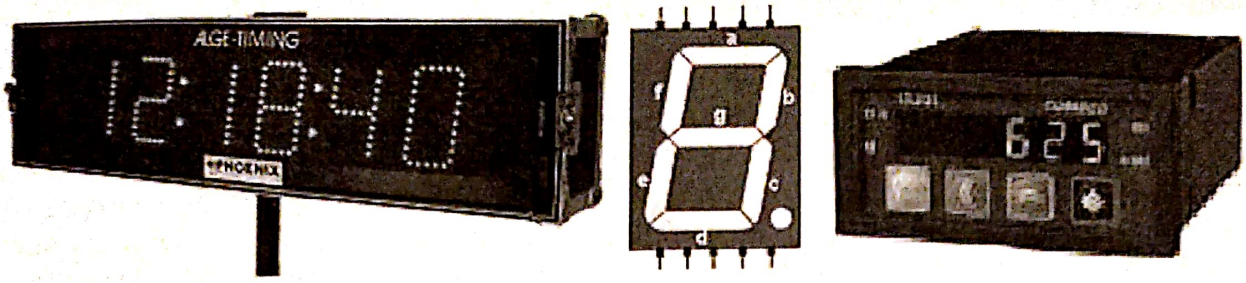


Fig. 5.15. *Aplicații*

Diodele electroluminescente au multiple utilizări, putând intra în componența indicatoarelor luminoase, a dispozitivelor de iluminare, a panourilor indicatoare, a dispozitivelor de afișare etc.

Unul dintre cele mai utilizate moduri de afișaj este cel cu șapte segmente (fig. 5.13.c și fig. 5.15). Fiecare segment conține o diodă electroluminescentă, iar segmentele, care luminează în funcție de comanda primită, formează cifre de la 0 la 9. Segmentele sunt notate cu litere de la *a* la *g*.

În cazul elementelor de afișare cu segmente luminoase, dimensiunile diodelor sunt mult mai mici decât dimensiunile segmentelor, iar pentru a fi ușor observabile, deasupra structurii se montează lentile convergente, care măresc imaginea.

Elementele de afișaj de dimensiuni reduse nu folosesc diode separate, ci acestea se realizează sub formă de circuit integrat în aceeași plăcuță de semiconductor.

Observație *Deoarece străpungerea unui LED are loc la o valoare mică, pentru a funcționa în curent alternativ, în paralel cu acesta se montează o diodă uzuală, pentru conducția celeilalte alternanțe; în acest caz, iluminarea are caracter stroboscopic.*

Dacă în aceeași capsulă se introduc, cu conectare antiparalel, două LED-uri de culori diferite, se obține LED-ul bicolor, care, la polarizare directă, emite într-o culoare, iar la polarizare inversă, în altă culoare.

În mod similar, se construiesc și LED-urile în trei culori, cea de-a treia culoare obținându-se în situația când ambele diode conduc. Aceste LED-uri au trei terminale, doi anozi și un catod comun ambelor diode (fig. 5.16).

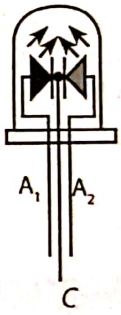


Fig. 5.16. *Led bicolor*

Știați că ...?

❑ *Electroluminescența a fost descoperită în anul 1907, de către H.J. Round, folosind un cristal de carbură de siliciu și un detector primitiv dintr-un metal semiconductor. Rusul Oleg Vladimirovich Losev a fost cel care a creat primul LED, prin anii 1920. Cercetarea sa a făcut înconjurul lumii, însă nu s-a găsit nicio întrebuințare a acesteia timp de câteva decenii.*

În anul 1961, Bob Biar și Gary Pittman au descoperit că, aplicând curent unui aliaj din galiu și arsen, acesta emite o radiație infraroșie. Primul LED cu emisie în spectrul vizibil (roșu) a fost realizat, în anul 1962, de către Nick Holonyak, când lucra la General Electric Company.

Un fost student al acestuia, M. George Craford, a inventat primul LED de culoare galbenă și a îmbunătățit factorul de iluminare al LED-urilor roșu și roșu-portocaliu de circa zece ori, în anul 1972. Până în 1968, LED-urile vizibile și cele infraroșii costau foarte mult, aproape 200 de dolari, și puteau fi folosite doar la aplicații minore.

Prima corporație care a trecut la fabricarea LED-urilor pe scară largă a fost Monsato Corporation, realizând, în 1968, LED-uri pentru indicare. Acestea au fost preluate de către compania Hewlett Packard și integrate în primele calculatoare alfanumerice.

Scanned with OKEN Scanner

Primele LED-uri comercializate pe scară largă au fost folosite pentru înlocuirea indicatoarelor incandescente, întâi la echipamentele scumpe, precum cele de laborator, şi la cele de teste, apoi, mai târziu, la televizoare, radiouri, telefoane, calculatoare, chiar şi la ceasuri. Aceste LED-uri roşii nu puteau fi folosite decât pentru indicare, deoarece emisia de lumină nu era suficientă pentru iluminarea unei suprafeţe.

În decursul anilor, s-au descoperit şi alte culori ale LED-urilor, cu capacităţi mai mari de iluminare. Primul LED cu capacitate mare de iluminare a fost realizat de cercetătorul Shuji Nakamura, în anul 1993, dintr-un aliaj de InGaN. Pentru invenţia sa, acesta a fost premiat, în anul 2006, cu Milennium Technology Prize.

❑ *LED-urile sunt incluse într-o gamă foarte largă de produse electronice, dar funcţionează foarte bine şi ca soluţie de iluminare. Iniţial, au fost utilizate pentru iluminarea subacvatică a piscinelor. Întrucât până la începutul anilor '90 nu se reuşise producerea luminii albe, LED-urile nu au putut fi utilizate pentru iluminarea normală. Singurele culori pe care LED-urile le puteau emite erau roşu, verde şi galben.*

Situaţia s-a schimbat în anul 1993, datorită companiei Nichia Chemical, din Japonia, care a reuşit producerea LED-urilor de culoare albastră care, combinate cu LED-urile roşii, produc lumina albă.

În prezent, iluminarea cu LED-uri a devenit ceva obişnuit; există oraşe cu iluminat preponderent cu LED-uri, de la iluminat stradal, public, menajer şi până la iluminat stadioane – proiectoare cu LED-uri.

Avantajele instalaţiilor de iluminat cu LED-uri sunt următoarele:

- *sunt eficiente: lămpile cu LED-uri produc mai mulţi waţi per lumen decât orice alt tip de lămpi existente pe piaţă;*
- *sunt rezistente la ciclicitate: lămpile cu LED-uri sunt ideale la aplicaţii cu porniri şi opriri dese; lămpile incandescente sau compact fluorescente îşi consumă ciclul de viaţă rapid dacă sunt supuse la un astfel de „stres", iar lămpilor HID (high intensity discharge) le este necesară o perioadă de timp pentru repornire;*
- *produc „lumină rece": lămpile cu LED-uri nu degajă căldură, precum celelalte tipuri de lămpi, conferind un beneficiu important pentru ecosistem şi pentru mediu;*
- *au durata de viaţă mult mai lungă: cu o durată de viaţă de 50.000-100.000 de ore, lămpile cu LED-uri depăşesc detaşat potenţialii concurenţi la acest capitol (lămpile incandescente aprox. 1000 de ore, lămpile fluorescente aprox. 10.000 de ore);*
- *sunt rezistente la şocuri: lămpile cu LED-uri au componente solide rezistente la şocuri externe, spre deosebire de lămpile incandescente şi fluorescente, care sunt fragile;*
- *au toxicitate 0: spre deosebire de lămpile fluorescente, lămpile cu LED-uri nu conţin mercur.*

Pe scurt, un bec cu LED care asigură un flux luminos de 700 de lumeni (atât asigură clasicul bec incandescent de 60 W), consumă doar 8 W/oră, nu se arde şi nu se defectează pe o perioadă de minimum 20 de ani, nu degajă căldură, nu conţine elemente chimice nocive pentru mediu, poate fi folosit cu uşurinţă în orice fel de medii industriale, este rezistent la şocuri şi lista poate continua.

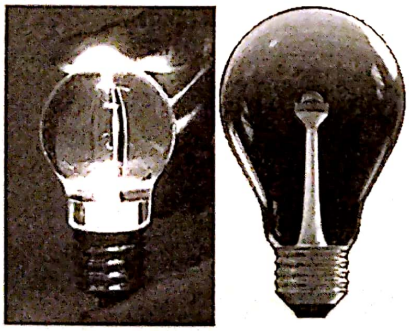


Fig. 5.17. *Becuri realizate cu LED*

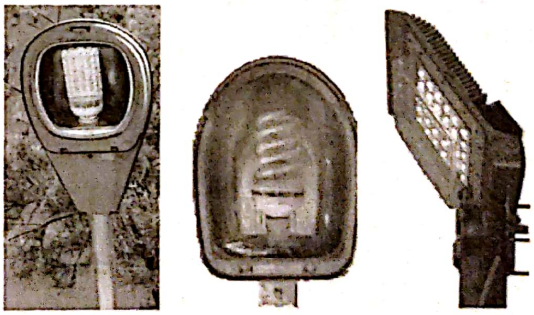


Fig. 5.18. *Lămpi pentru iluminatul stradal cu LED-uri*

Scanned with OKEN Scanner

5.5. Conectarea LED-urilor în circuit

Pentru limitarea curentului ce străbate un LED, se prevede în serie cu el un rezistor, astfel încât să nu de depăşească valoarea-limită a curentului impusă de catalog.

Valoarea rezistorului se calculează astfel:

$R = (E - U_D)/I_D$.

Exemplu

Să presupunem că dorim să alimentăm un LED roşu de la o baterie de 9 V. Datele de catalog ale LED-ului indică:

$U_D = 2$ V şi $I_D = 20$ mA = 0,02 A.

În acest caz, $R = (9\text{ V} - 2\text{ V})/0{,}02\text{ A} = 350\ \Omega$.

Vom alege un rezistor de 390 Ω (cea mai apropiată valoare standard, mai mare decât cea obţinută prin calcul).

■ **Conectarea LED-urilor în serie**

LED-urile se pot conecta în serie, ca în figura alăturată.

Ele vor fi parcurse de acelaşi curent I_D, limitat de rezistorul R.

Sursa E trebuie să asigure tensiunea de deschidere pentru fiecare LED: $E = I_D \cdot R + U_{D1} + U_{D2} + U_{D3}$.

R se calculează astfel încât I_D să nu depăşească valoarea maxim admisă pentru fiecare LED.

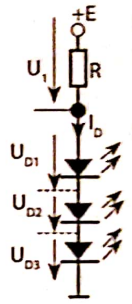


Fig. 5.18. Conectarea LED-urilor în serie

■ **Conectarea LED-urilor în paralel**

Conectarea LED-urilor în paralel **nu este indicată**, deoarece numai LED-ul cu tensiunea de deschidere cea mai mică va emite lumină; în plus, există pericolul distrugerii diodelor.

Aprofundare

5.6. Dioda LASER

O diodă laser (fig. 5.19) este un dispozitiv electronic asemănător cu dioda electroluminiscentă, atât din punct de vedere funcţional, cât şi ca aspect. Principala diferenţă este aceea că dioda laser produce lumină prin **radiaţie stimulată**, spre deosebire de LED, care produce lumină prin **radiaţie spontană**.

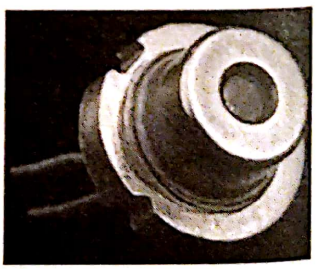


***Fig. 5.19.** Dioda laser*

Spontană înseamnă că radiaţia are loc fără cauze externe. Acest lucru se întâmplă în LED-uri: *electronii liberi din banda de conducţie se recombină, fără niciun stimulent extern, cu golurile, producând radiaţie spontană.*

Un alt proces are loc atunci când un foton extern loveşte un electron liber. Interacţiunea dintre ei determină o recombinare şi o radiaţie de nou foton. În acest caz, emisia indusă este *stimulată* de fotonul extern. Prin urmare, această radiaţie este numită *stimulată*.

Din punct de vedere constructiv, dioda laser este realizată pe o structură semiconductoare cu mai multe straturi (heterojoncţiune). Un canal lung şi subţire străbate straturile semiconductoare, formând un ghid de undă pentru lumina emisă. De-a lungul acestui canal, lumina este reflectată şi amplificată.

Scanned with OKEN Scanner

O diodă laser emite lumină cu anumite proprietăți specifice:

1. Este *monocromatică*. Lățimea spectrală a radiației este foarte îngustă. Aceasta poate fi o zecime sau chiar o sutime dintr-un nanometru.
2. Este *bine direcționată*. O diodă laser radiază un fascicul îngust, bine direcționat, care poate fi ușor lansat într-o fibră.
3. Este *foarte intensă și eficientă*. O diodă laser poate radia sute de miliwați.
4. Este *coerentă*. Acest lucru înseamnă că toate oscilațiile sunt în fază. Această proprietate este importantă pentru transmisia și detecția informației.

Diodele laser au din ce în ce mai multe utilizări. Cel mai adesea sunt utilizate pentru stocarea și redarea informației pe discurile optice (CD-uri, DVD-uri etc.), pentru producerea impulsurilor de lumină care transportă informația prin fibrele optice care formează rețelele de telecomunicații și pentru imprimantele laser.

De asemenea, sunt utilizate în sisteme de măsurare a distanțelor sau a nivelelor.

Diodele laser de putere sunt utilizate în chirurgie sau pentru tăierea materialelor.

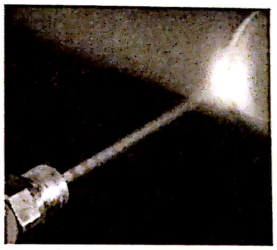


Fig. 5.20. *Raza laser*

Știați că ...?

Acronimul LASER înseamnă Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Amplificare a Luminii prin Emiterea Stimulată a Radiației). Principiile de funcționare ale laserului au fost enunțate în 1916, de Albert Einstein, printr-o evaluare a consecințelor legii radiației a lui Max Planck și prin introducerea conceptelor de emisie spontană și emisie stimulată. Aceste rezultate teoretice au fost uitate, însă, până după cel de-al Doilea Război Mondial.

Primul laser funcțional a fost construit pe rubin de către americanul Theodore Meiman, în 1960. Fundamentele teoretice și practice pentru această realizare au fost oferite de americanul Charles Townes și rușii Alexander Prokhorov și Nikolay Basov, care au și partajat premiul Nobel pentru fizică din anul 1964.

Interesant este că laserul nu este un amplificator de lumină, așa cum sugerează numele, ci un generator de lumină. Laserul este un dispozitiv care generează lumina prin emisie stimulată de radiație.

România a fost a patra țară din lume în care s-au realizat lasere, în urma unor cercetări întreprinse de un colectiv condus de Ion I. Agârbiceanu (fiul scriitorului Ion Agârbiceanu). Rezultatul lor a fost raportat în 1961.

Aprofundare

5.7. OLED – Organic Light-Emitting Diode

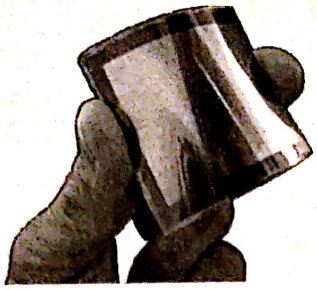
Un OLED este o diodă electroluminiscentă realizată din materiale organice (adică din plastic). Spre deosebire de LED-urile clasice, realizate din monocristale semiconductoare anorganice, care sunt dificil de realizat, OLED-urile au avantajul că sunt mult mai ieftine. În plus, mai prezintă și alte avantaje, cum ar fi flexibilitatea și transparența, precum și faptul că sunt mult mai ușoare.

Principalul dezavantaj este acela că sunt sensibile la apă.

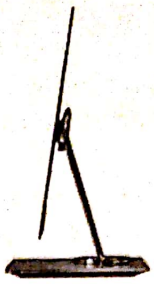
OLED-urile se realizează integrate pe o folie subțire de plastic, unde formează o rețea activă de diode electroluminescente (AMOLED – **A**ctive **M**atrix OLED), care formează un ecran. Rețeaua activă permite activarea și dezactivarea fiecărui pixel constituent al ecranului.

OLED-urile se pretează, în primul rând, la producerea de ecrane pentru televizoare „mari", de ordinul a 1 m diagonală și mai mult, la ecrane pentru telefoanele mobile, monitoare și display-uri de calculator, precum și la elemente iluminatoare de mare suprafață. Un avantaj important este și consumul redus de curent electric, care duce la mărirea eficienței aparatelor care utilizează OLED-uri; tehnologia OLED face pași tot mai mari și mai repezi către desemnarea acesteia drept înlocuitoare a banalului bec electric cu incandescență.

Scanned with OKEN Scanner



a) Folie OLED



b) Monitor OLED

Fig. 5.21

Deoarece materialele din care sunt făcute OLED-urile sunt flexibile, există, în plus, un mare potențial pentru realizarea unor aplicații suplimentare în viitorul apropiat, precum:

- ecrane flexibile, care se pot la nevoie împături sau se pot face sul;
- așa-numita „hârtie electronică", de exemplu, pentru publicarea ziarelor, atât în alb/negru, cât și color;
- iluminarea locuințelor printr-o folie mare, subțire și transparentă (deci aproape invizibilă), aplicată direct pe perete sau pe tapet etc.

5.8. Optocultorul

Definiție și simbol

Optocuplorul (fotocuplorul) este un ansamblu de două dispozitive optoelectronice semiconductoare – o diodă electroluminescentă (emițător de lumină) și un fototranzistor (receptor de lumină) – **amplasate în aceeași capsulă, astfel încât radiația luminoasă emisă de diodă comandă fototranzistorul.**

Cele două dispozitive care formează optocuplorul sunt cuplate optic, dar sunt izolate din punct de vedere electric. Aceasta face ca impedanța de intrare să fie aproape infinită ($10^{13}\,\Omega$).

În figura 5.24 este prezentat simbolul optocuplorului.

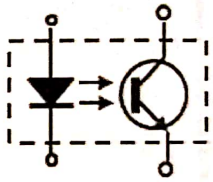
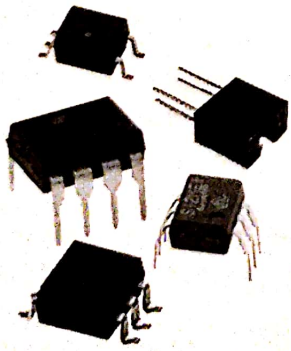


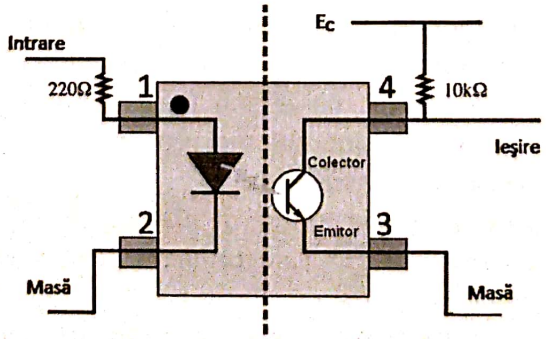
***Fig. 5.24.** Simbolul optocuplorului*

Aspect fizic

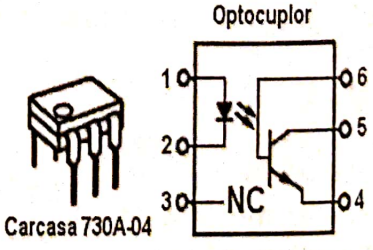
În figura 5.25.a sunt prezentate diferite tipuri de optocuploare, capsulele și configurația pinilor. Se observă că optocuploarele se realizează atât pentru implantarea în găuri, cât și pentru plantarea pe suprafață.



a) Tipuri constructive



b) Conectarea în circuit



c) Configurația pinilor

Fig. 5.25

Scanned with OKEN Scanner

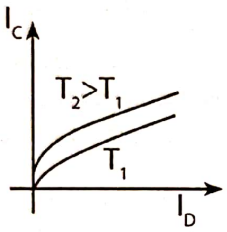
Parametrii specifici

Parametrii ce caracterizează un optocuplor sunt de două feluri: cei ce se referă separat la emițător și receptor și cei care se referă la ansamblul lor. Din prima categorie fac parte parametrii specifici LED-urilor și fototranzistoarelor, care au fost prezentate în paragrafele anterioare.

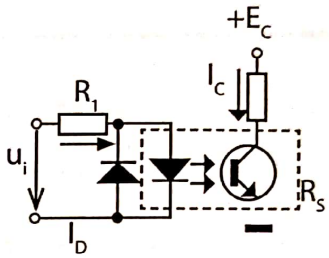
Specifice optocuplorului sunt:

- **tensiunea de lucru**, reprezentată prin diferența de potențial care poate exista între emițător și detector, fără pericolul străpungerii dielectricului; valorile acesteia sunt de ordinul miilor de volți;
- **factorul de transfer în curent**, definit ca raportul dintre variația curentului la ieșire și variația corespunzătoare a curentului la intrare ($CTR = I_C / I_D$);
- **timpul de răspuns**.

Curentul de ieșire al fototranzistorului (I_C) este aproximativ proporțional cu valoarea curentului de intrare, I_D, după cum se poate observa și în caracteristica $I_C = f(I_D)$ din figura 5.26.a.



a) Caracteristica de transfer $I_C = f(I_D)$



b) Conectarea optocuplorului folosind o diodă de protecție

Fig. 5.26

Curba care arată dependența curentului de ieșire, I_C, de cel de intrare (I_D), depinde de temperatura mediului ambiant (fig. 5.26.a).

În figura 5.26.b este prezentat un circuit de montare a optocuplorului. Schema cuprinde și o diodă de protecție.

Principalele **utilizări ale optocuplorului** sunt:

- în montaje care necesită izolarea galvanică între circuite care lucrează la tensiuni sau la curenți diferiți;
- în traductoarele de poziție fără contact mecanic;
- la comenzi ale dispozitivelor de puteri mari;
- în componența cuplajelor digitale etc.

Optocuploarele izolează oamenii față de tensiunile înalte, elimină buclele la masă și măresc viteza de comutație, putând elimina releele sau alte dispozitive de comutare. În felul acesta, asigură o fiabilitate sporită, precum și un grad mai mare de protecție a muncii.

Un alt avantaj al optocuplorului îl constituie imunitatea la zgomote.

Aprofundare

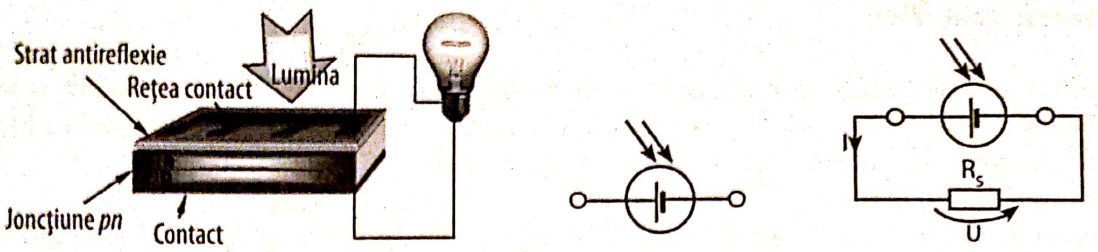
5.9. Fotoelementul

Fotoelementul este un dispozitiv optoelectronic care realizează conversia directă a energiei luminoase în energie electrică (prin apariția la borne a unei tensiuni electromotoare).

Din punct de vedere constructiv, fotoelementul este o joncțiune *pn* care are o arie mult mai mare decât o joncțiune normală, oferind o suprafață mai mare de iluminare (fig. 5.27.a).

Circuitul de lucru al fotoelementului nu mai cuprinde surse exterioare de tensiune, ci numai consumatorul, ca în figura 5.27.c.

Scanned with OKEN Scanner



a) Structura fizică a unui fotoelement *b) Simbolul* *c) Conectare în circuit*

Fig. 5.27

Când fotoelementul este iluminat, la bornele sale apare o tensiune electromotoare, *U*. În prezența rezistenței de sarcină, prin circuit va circula un curent electric, *I*.

Deci, fotoelementul se comportă ca o minibaterie, numită și *celulă fotovoltaică* sau *celulă solară*. În figura 5.27.b este prezentat simbolul fotoelementului.

Știați că ...?

În Grecia Antică, oamenii cunoșteau diferite procedee de utilizare a energiei luminii. Astfel, se pare că, la asediul Siracuzei, în anul 212 î.H., Arhimede a folosit un sistem de oglinzi cu care a concentrat lumina solară către flota asediatoare a romanilor, incendiind-o. Tot grecii au fost cei care au utilizat energia luminoasă în scop pașnic, aprinzând cu ea flacăra olimpică.

În 1839, Alexandre Edmond Becquerel a descoperit că o baterie expusă la soare produce mai mult curent electric decât una neexpusă.

În 1893, a fost confecționată prima celulă solară care producea electricitate. Astfel, s-au inventat panourile solare fotovoltaice sau panourile solare electrice.

În 1954, D.M. Chapin, C.S. Fuller și G.L. Pearson, la Laboratoarele Bell, în Statele Unite, au realizat prima celulă fotovoltaică, din siliciu cristalin, al cărui randament era de 6%, valoare impresionantă pentru acea vreme.

Panoul fotovoltaic

Celulele solare, numite și celule fotovoltaice, au, de obicei, o suprafață mică, iar curentul generat de o singură celulă este mic. Combinații serie – paralel ale acestor celule pot produce, însă, curenți suficient de mari pentru a putea fi utilizați în practică. Pentru aceasta, celulele sunt încapsulate în module numite și panouri solare, care le oferă rezistență mecanică și la intemperii.

În forma cea mai comună, un modul fotovoltaic este realizat din 36 de celule, legate în serie de câte 9 și, apoi, în paralel (4 x 9).

Puterea unui modul, în condiții de iradiere maximă, este de 40-50 W. Tensiunea la bornele unui modul este în jur de 17 V, astfel încât acesta să poată fi conectat la un acumulator convențional, în scopul înmagazinării energiei electrice obținute.

Prin legarea în serie și/sau paralel a mai multor module fotovoltaice se obțin generatoare fotovoltaice care prezintă parametrii electrici necesari pentru diverse tipuri de aplicații.

Știați că ...?

Suprafața Pământului este încălzită anual de o energie de aproximativ 8×10^3 TWh. Omenirea consumă energie primară doar în cantitate de 1×10^5 TWh anual. Prin urmare, oferta de energie solară este de 8000 de ori mai mare decât cererea de energie a lumii.

Chiar dacă luăm în considerare numai suprafața uscatului, de $149 \cdot 10^6$ km² (29% din suprafața globului), cantitatea de energie incidentă pe pământ este de 2300 de ori mai mare decât cererea. Dacă presupunem că numai o fracțiune din energia incidentă de pe suprafața pământului poate fi convertită în folosul omului, cantitatea de energie solară rămasă este mai mult decât suficientă pentru satisfacerea nevoilor de energie.

Scanned with OKEN Scanner

Aprofundare

5.10. Dispozitive cu cristale lichide

Dispozitivele de afişaj cu cristale lichide (**L**iquid **C**rystal **D**isplay – **LCD**) reprezintă o categorie de dispozitive optoelectronice pasive care nu emit lumină, ci se bazează pe proprietăţile de reflexie şi de absorbţie a luminii ale anumitor materiale, ale căror proprietăţi optice se modifică în funcţie de tensiunea de polarizare aplicată dispozitivului.

Cristalele lichide sunt materiale organice, aflate în stare intermediară între starea cristalină şi starea lichidă.

Sub influenţa unui câmp electric extern, se modifică aranjamentul molecular al cristalului lichid, ducând la modificarea proprietăţilor optice ale acestuia.

Dispozitivele cu cristale lichide sunt realizate din două plăci de sticlă, între care există un spaţiu cu o grosime de câţiva micrometri. Acest spaţiu este umplut cu cristalul lichid. Suprafaţa interioară a plăcilor este prevăzută cu electrozi de forma caracterelor care urmează a fi afişate.

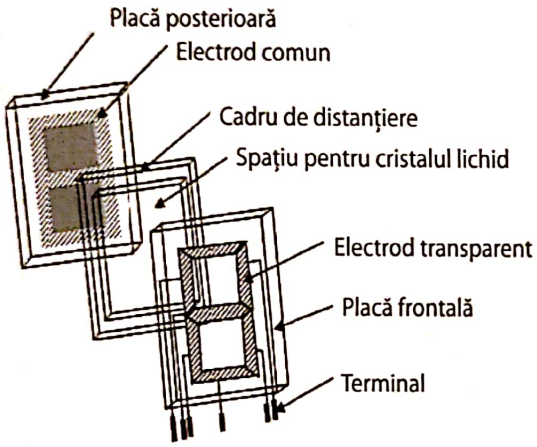


Fig. 5.28. *Structura unui element de afişare cu cristale lichide*

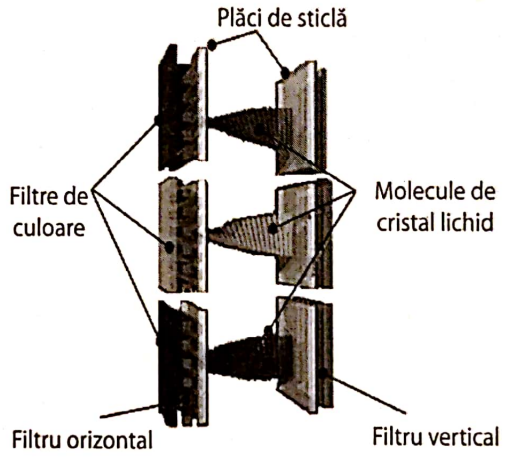


Fig. 5.29. *Structura unui pixel color realizat cu cristale lichide*

Ca urmare a tensiunii aplicate plăcilor, moleculele din zona electrozilor se vor orienta astfel încât să reflecte lumina incidentă, segmentele respective nefiind vizibile, în timp ce alte cristale nu vor face reflexia, fiind vizibile ca segmente negre pe un fond deschis la culoare. Există şi posibilitatea de a realiza dispozitive cu afişaj sub formă de segmente luminoase pe un fond închis la culoare. Mai există variante de a folosi filtre colorate sau fonduri colorate care permit vizualizarea în culori, ca în cazul televizoarelor, al monitoarelor sau al ecranelor LCD.

În ecranele LCD color, fiecare pixel individual este divizat în trei celule, numite şi subpixeli, care sunt colorate în roşu, verde şi albastru, cu ajutorul unor filtre suplimentare. Fiecare subpixel este controlat independent, pentru a se obţine milioane de culori posibile pentru fiecare pixel.

Principalele avantaje ale dispozitivelor de afişare cu cristale lichide constau în: putere consumată foarte mică (de ordinul μV), dimensiuni reduse, vizibilitate chiar într-o lumină puternică.

Ştiaţi că ...?

În anul 1837, scriitorul Edgar Allan Poe, în Narrative of Arthur Gordon Pym, una dintre primele relatări referitoare la apariţia într-un lichid de reflexe cristaline discret nuanţate. Acest fenomen aparent miraculos care îl contraria este propriu substanţelor numite azi cristale lichide.

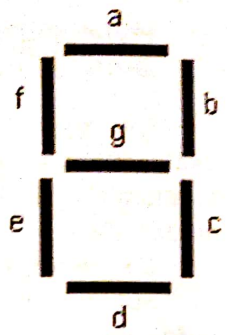
Cristalele lichide au fost descoperite de un botanist austriac, în anul 1888. Studiile teoretice şi experimentale privind structura, morfologia, textura, proprietăţile fizice şi interacţiunea cu câmpul exterior a cristalelor lichide au deschis calea cunoaşterii lor şi a descoperirii unor aplicaţii excepţionale.

Primul display a fost experimentat în 1968, an care a marcat începutul cristalelor lichide.

Scanned with OKEN Scanner

5.11. Afişajul digital

Tipurile principale de afişoare sunt cele cu diode electroluminiscente (cu LED-uri) şi cele cu cristale lichide (cu LCD-uri). Ambele constau din şapte segmente (acesta fiind numărul minim de segmente cu care se pot reprezenta cifrele de la 0 la 9.



Afişajul cu cristale lichide necesită o putere foarte mică pentru funcţionare (de ordinul μW) şi aceste tipuri de afişaj sunt folosite în aparate de măsurat portabile.

Afişajele cu LED-uri necesită curenţi mai mari decât afişajele LCD şi consumă putere mai mare (în mW). Ele sunt larg utilizate în voltmetre digitale de laborator (DVM-Digital Volt-Meter), pentru care puterea consumată nu este un factor important. Pe de altă parte, afişajele cu LED-uri pot fi observate şi în condiţii de întuneric, în timp ce afişajele cu LCD necesită lumină ambiantă.

Numărul de intrare	Segmente activate							Afişajul rezultat
0	a	b	c	d	e	f		0
1		b	c					1
2	a	b		d	e		g	2
3	a	b	c	d			g	3
4		b	c			f	g	4
5	a		c	d		f	g	5
6			c	d	e	f	g	6
7	a	b	c					7
8	a	b	c	d	e	f	g	8
9	a	b	c	d		f	g	9

Afişajul cu cristale lichide necesită o putere foarte mică pentru funcţionare (de ordinul mW) şi aceste tipuri de afişaj sunt folosite în aparate de măsurat portabile.

Afişajele cu LED-uri necesită curenţi mai mari decât afişajele LCD şi consumă putere mai mare (în mW). Acestea sunt larg utilizate în voltmetre digitale de laborator (DVM-Digital Volt-Meter), pentru care puterea consumată nu este un factor important. Pe de altă parte, afişajele cu LED-uri pot fi observate şi în condiţii de întuneric, în timp ce afişajele cu LCD necesită lumină ambiantă.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

Rezumat

- ***Dispozitivele optoelectronice*** *reprezintă o categorie de dispozitive electronice a căror funcționare presupune existența radiației electromagnetice în domeniul optic fie ca factor perturbator, fie ca rezultat al regimului electric. Transformarea energiei luminoase în energie electrică și invers se face în mod direct, fără intermediul altor forme de energie.*
- ***Fenomenele fizice fundamentale*** *care stau la baza funcționării dispozitivelor optoelectronice sunt:* ***absorbția luminii (a radiației electromagnetice) în corpul solid*** *și* ***recombinarea radiativă a purtătorilor de sarcină în semiconductoare****.*
- ***Fotorezistorul*** *este un rezistor realizat dintr-un material semiconductor omogen, a cărui rezistență se modifică sub influența unui flux luminos incident.*
- ***Fotodioda*** *este un dispozitiv optoelectronic realizat dintr-o joncțiune* ***pn*** *fotosensibilă, polarizată invers.*
- ***Fototranzistorul*** *este un dispozitiv optoelectronic realizat pe o structură de tranzistor, al cărui curent de colector este comandat de un flux luminos.*
- ***Dioda electroluminescentă*** *este un dispozitiv semiconductor care conține o joncțiune* ***pn*** *polarizată direct, realizată dintr-un material cu proprietăți speciale.*
- ***O diodă laser*** *este un dispozitiv electronic asemănător atât din punct de vedere funcțional, cât și ca aspect, cu dioda electroluminiscentă. Principala diferență este aceea că dioda laser produce lumină prin radiație stimulată, față de LED, care produce lumină prin radiație spontană.*
- ***Optocuplorul (fotocuplorul)*** *este un ansamblu de două dispozitive optoelectronice semiconductoare – o diodă electroluminescentă (emițător de lumină) și un fototranzistor (receptor de lumină) – amplasate în aceeași capsulă, astfel încât radiația luminoasă emisă de diodă comandă fototranzistorul.*
- ***Fotoelementul*** *este un dispozitiv optoelectronic care realizează conversia directă a energiei luminoase în energie electrică (prin apariția la borne a unei tensiuni electromotoare).*
- ***Dispozitivele de afișaj cu cristale lichide, LCD,*** *reprezintă o categorie de dispozitive optoelectronice pasive care nu emit lumină, ci se bazează pe proprietățile de reflexie și de absorbție a luminii de către anumite materiale, ale căror proprietăți optice se modifică în funcție de tensiunea de polarizare aplicată dispozitivului.*

Evaluarea cunoștințelor

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. Fotorezistența este un rezistor a cărui rezistență se modifică sub acțiunea:
a) fluxului luminos incident;
b) tensiunii la borne;
c) curentului electric din circuit;
d) temperaturii.

2. Rezistența electrică a fotorezistenței are valoarea:
a) mare la întuneric;
b) mare la lumină intensă;
c) mică la întuneric;
d) nulă la întuneric.

3. Dacă asupra unei fotorezistențe se aplică un flux luminos a cărui intensitate luminoasă crește, rezistența fotorezistenței:
a) crește;
b) scade;
c) nu se modifică;
d) se anulează.

4. Intensitatea curentului electric prin fotodiodă este:
a) direct proporţională cu intensitatea fluxului luminos;
b) constantă în raport cu tensiunea la borne;
c) direct proporţională cu tensiunea;
d) invers proporţională cu tensiunea.

5. Fotodioda se comportă ca un generator:
a) de curent;
b) de tensiune;
c) de radiaţii;
d) de putere.

6. Dioda electroluminiscentă este un dispozitiv fotoelectronic realizat dintr-o joncţiune *pn* care funcţionează:
a) polarizată direct;
b) polarizată invers;
c) fără polarizare din exterior;
d) polarizată direct sau invers.

7. Culoarea emisă de un LED depinde de:
a) semiconductorul utilizat;
b) impurităţile folosite;
c) valoarea tensiunii la borne;
d) valoarea curentului în circuit.

8. Dioda electroluminiscentă realizează conversia:
a) energiei electrice în energie electrică;
b) energiei luminoase în energie electrică;
c) energiei electrice în energie luminoasă;
d) energiei mecanice în energie luminoasă.

9. Fototranzistorul este un dispozitiv optoelectronic camandat:
a) în tensiune;
b) de un flux luminos;
c) în curent;
d) în putere.

10. Fluxul luminos incident aplicat asupra unui fototranzistor comandă:
a) curentul de bază;
b) curentul de poartă;
c) curentul de colector;
d) curentul de emitor.

11. Capsula fototranzistoarelor este prevăzută cu o fereastră în care este montată o lentilă cu rol de:
a) a focaliza fluxul luminos asupra regiunii fotosensibile;
b) a mări suprafaţa fotosensibilă;
c) a proteja structura fotosensibilă împotriva variaţiilor intensităţii fluxului luminos;
d) a stabiliza cu temperatura.

12. Optocuplorul este un ansamblu de două dispozitive optoelectronice:
a) un LED şi un fototiristor;
b) un LED şi un fototranzistor;
c) o fotodiodă şi un fototranzistor;
d) o fotodiodă şi un LED.

Scanned with OKEN Scanner

13. Dispozitivele optoelectronice ce alcătuiesc optocuplorul sunt:
a) cuplate electric;
b) cuplate optic;
c) izolate electric;
d) izolate optic.

14. Valoarea rezistenței R, pentru ca LED-ul din figura 5.33 să funcționeze în punctul static $I_D = 10$ mA și $U_D = 2$ V este:
a) R = 1 kΩ;
b) R = 1,2 kΩ;
c) R = 0,2 kΩ;
d) R = 0,1 kΩ.

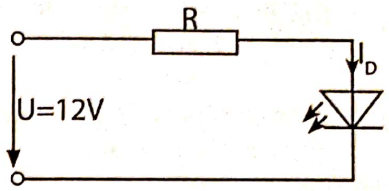


Fig. 5.33

15. LED–urile din figura 5.34 funcționează în punctul static caracterizat de mărimile:
$I_D = 10$ mA și $U_D = 2,5$ V. În aceste condiții, valoarea rezistenței R este:
a) R = 1 kΩ;
b) R = 500 Ω;
c) R = 250 Ω;
d) R = 50 Ω.

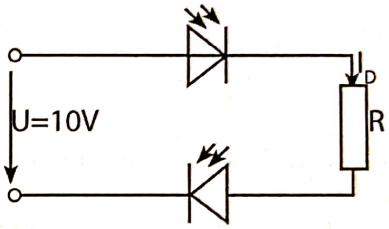
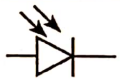
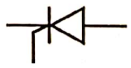
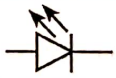


Fig. 5.34

II. În coloana A a tabelului de mai jos sunt enumerate o parte din dispozitivele semiconductoare, iar în coloana B, simbolurile acestora. Stabilește asocierile corecte dintre fiecare cifră din coloana A și litera corespunzătoare din coloana B.

A	B
Dispozitive semiconductoare	***Reprezentare convențională***
1. Dioda stabilizatoare	a.
2. Dioda redresoare	b. 
3. Fotodioda	c. 
4. Fototranzistor	d. 
5. Dioda electroluminiscentă	e.
6. Dioda varicap	f.
	g.

III. Referitor la dioda electroluminiscentă, răspunde următoarelor cerințe:
a) Reprezintă simbolul diodei electroluminiscente.
b) Precizează trei parametri ai diodei electroluminiscente.
c) Explică principiul de funcționare al diodei electroluminiscente.
d) Precizează trei utilizări frecvente ale diodei electroluminiscente.

Scanned with OKEN Scanner

IV. Rezolvă următoarele probleme.

1. Dioda electroluminescentă (LED), din figura 5.35, este polarizată în curent continuu de la o sursă $E_C = 4{,}5$ V. Valoarea curentului prin circuit este $I_D = 20$ mA.

a) Calculează valoarea rezistenței R de limitare a curentului I_D, când se motează un LED roșu ($U_D = 1{,}6$ V).

b) Calculează valoarea R de limitare a curentului I_D, când se montează un LED verde ($U'_D = 2{,}3$ V).

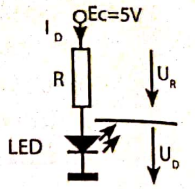


Fig. 5.35

2. Se consideră circuitul din figura 5.36, în care este utilizat un fototranzistor ROL–031. Fototranzistorul are sensibilitatea S = 0,01 mA/lx și este excitat cu iluminarea Ev = 1000 lx.

Calculează rezistența RE din emitorul tranzistorului, astfel încât $U_0 = 10$ V.

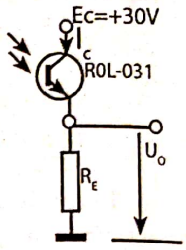


Fig. 5.36

3. În figura 5.37 este reprezentată o schemă electronică a unui detector de lumină.

a) Denumește componentele notate pe schemă cu T_1, R_1, LDR, LED.

b) Explică principiul de funcționare al componentei notate pe schemă cu LDR.

c) Precizează rolul componentei notate cu LED în circuitul din schemă.

d) Explică, pe scurt, funcționarea detectorului de lumină reprezentat în schemă.

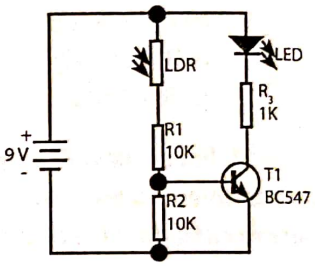


Fig. 5.37

4. În figura 5.38 sunt conectate în serie un LED roșu, un LED verde și un LED roșu. Știind că datele de catalog ale LED-urilor indică:

$U_{Droșu} = 1{,}6$ V și $U_{Dverde} = 2$ V, iar $I_D = 20$ mA

Determină valoarea rezistorului R astfel încât LED-urile să funcționeze în siguranță.

Fig. 5.38

5. Observă schema electrică din figura 5.39.

a) Întrerupătorul K este deschis, lampa L luminează. Explică de ce.

b) Întrerupătorul se închide. De ce se poate spune că $I_B = 0$? Lampa mai luminează?

c) Înlocuiește întrerupătorul K prin conectarea unei fotorezistențe. Când este luminată, ea este străbătută de curent electric. În obscuritate se opune trecerii curentului electric. Descrie funcționarea lămpii L când fotorezistența este luminată și când este în întuneric. Ce interes prezintă montajul?

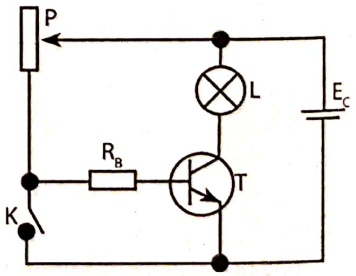


Fig. 5.39

6. În figura 5.40 este prezentată o schemă simplă de exponometru (sau de luxmetru), în care se utilizează o fotorezistență din CdS cu $\lambda = 550$ nm, o sursă de tensiune continuă $E_c = 5$ V și un microampermetru ideal, cu scara de măsură 0÷100 μA.

a) Luând în considerare dependența RP(Ev) din tabelul următor, determină indicația instrumentului de măsură corespunzătoare pentru fiecare valoare a iluminării Ev din tabelul dat.

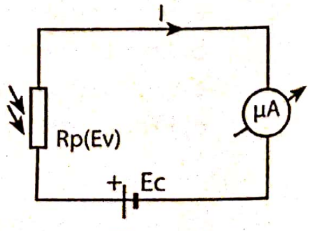


Fig. 5.40

Scanned with OKEN Scanner

Ev(lx)	2	4	6	8	10
Rp(kΩ)	200	100	80	60	50
I(μA)					

b) În circuitele din figura 5.41 se utilizează fotorezistența de mai sus, care are la întuneric rezistența de $R_D = 10\ M\Omega$.

Calculați tensiunea de ieșire în următoarele cazuri:

1) în condiții de întuneric;

2) în condițiile unei iluminări $E_v = 10$ lx.

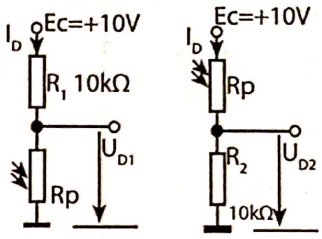


Fig. 5.41

7. În figura 5.42 este prezentată o structură simplă de optocuplor, la care $I_C/I_D = 25\%$.

a) Determină rezistența de limitare R pentru $I_{DM} = 20$ mA și $U_{DM} = 1,5$ V.

b) Determină rezistența de sarcină R_c pentru $U_{Cemin} = 0,4$ V.

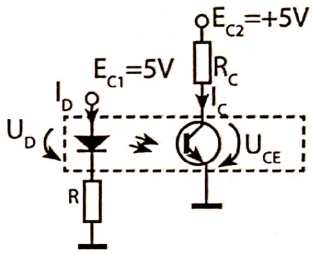


Fig. 5.42

Lucrare de laborator

Dispozitive optoelectronice

▸ ***Obiective:***

– identificarea componentelor optoelectronice;

– trasarea caracteristicilor statice;

– determinarea parametrilor specifici pe baza caracteristicilor trasate.

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R, R_1	1 kΩ
		R_2	100 kΩ
	LED-uri	D	MDE 1101 R
	Fotodiode	FD	ROL 21
	Fototranzistoare	FT	MDR 4213-11C
	Optocuploare	OC	MDC 1111-03
Aparate	Multimetru digital sau analogic	mA	
		V	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată și reglabilă	S	0 – 24 V cc
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Scanned with OKEN Scanner

▸ ***Desfășurarea lucrării:***

☛ **Trasarea caracteristicilor statice pentru diodele electroluminiscente $I_{LED} = f(U_{LED})$**

✓ realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 5.43;

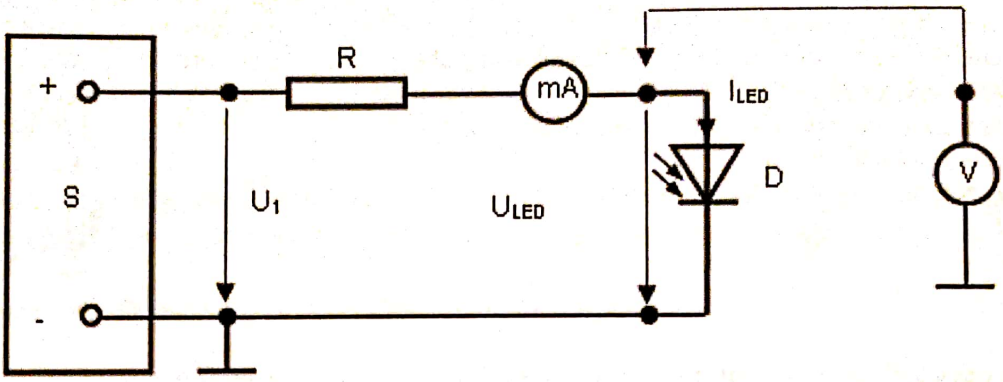


Fig. 5.43

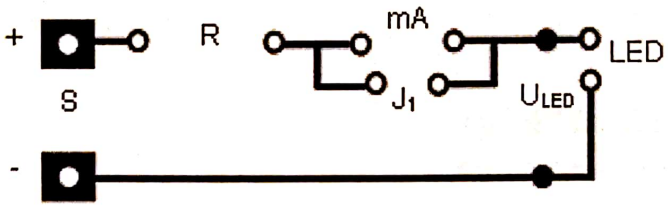


Fig. 5.44

✓ reglează sursa de alimentare astfel încât intensitatea curentului electric prin dioda electroluminiscentă (I_{LED}) să aibă valorile indicate în tabelul 5.3;

Tabelul 5.3

I_{LED} [mA]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_{LED} [V]											

✓ pentru fiecare valoare a intensității curentului, măsoară tensiunea la bornele LED-ului;

✓ pe baza datelor obținute, trasează prin puncte caracteristica statică $I_{LED} = f(U_{LED})$ a LED-ului, în sistemul de axe de coordonate din figura 5.45.

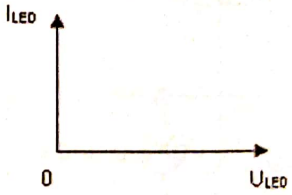


Fig. 5.45

☛ **Trasarea caracteristicilor statice pentru fotodiode $I_{FD} = f(U_{FD}) \mid I_{LED} = ct$**

✓ realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 5.46;

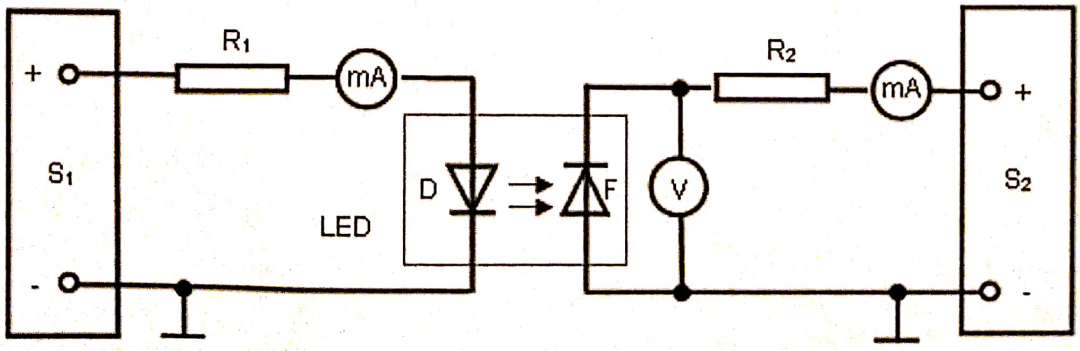


Fig. 5.46

Scanned with OKEN Scanner

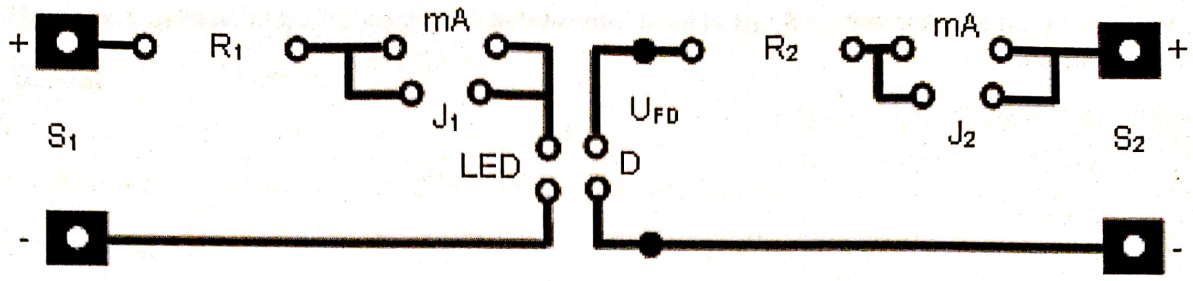


Fig. 5.47

✓ reglează sursa de alimentare ***S***, astfel încât intensitatea curentului prin LED să aibă valorile indicate în tabelul 5.4;

Tabelul 5.4

$I_{LED} = 0$	U_{FD} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FD} [μA]									
$I_{LED} = 10$ mA	U_{FD} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FD} [μA]									
$I_{LED} = 20$ mA	U_{FD} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FD} [μA]									

✓ pentru fiecare valoare a intensității curentului prin LED, I_{LED} = **ct**, reglează sursa S_2 astfel încât valorile tensiunii la bornele fotodiodei să aibă valorile indicate în tabelul 5.4;
✓ pentru fiecare valoare a intensității curentului I_{LED} = **ct** și a tensiunii U_{FD}, măsoară intensitatea I_{FD} a curentului electric prin fotodiodă;
✓ pe baza datelor obținute prin măsurare, trasează prin puncte caracteristicile statice ale fotodiodei, în sistemul de axe de coordonate din figura 5.48.

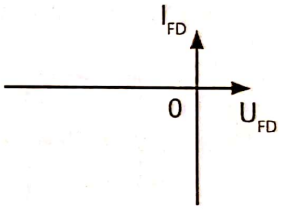


Fig. 5.48

Trasarea caracteristicilor statice pentru fototranzistoare $I_{FT} = f(U_{FT})$
✓ realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 5.49;

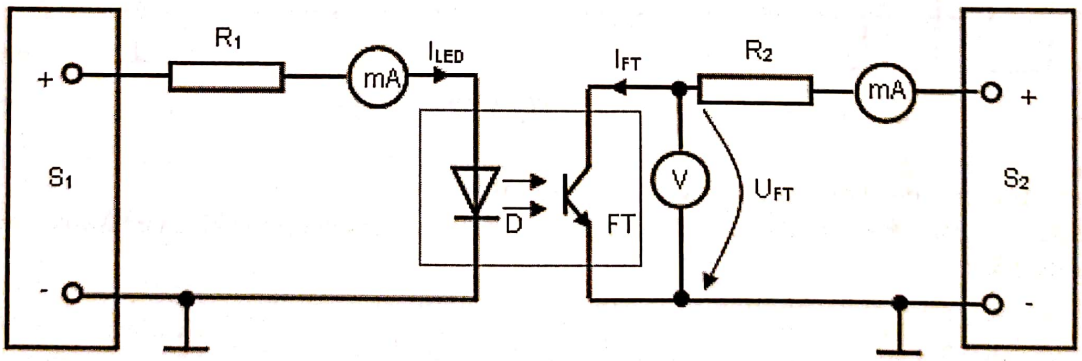


Fig. 5.49

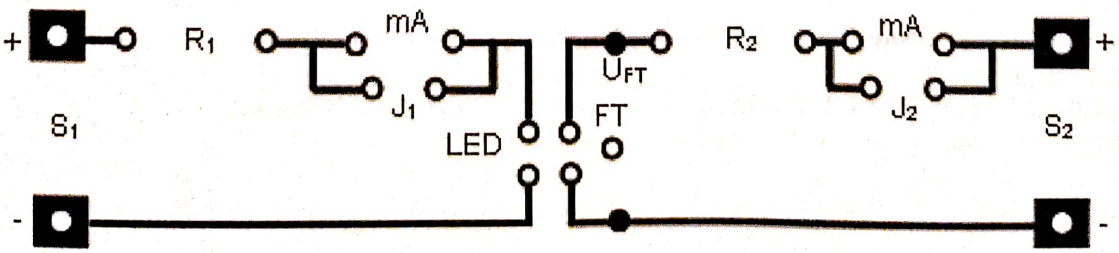


Fig. 5.50

Scanned with OKEN Scanner

✓ reglează sursa de alimentare S_1 astfel încât intensitatea curentului prin LED să aibă valorile indicate în tabelul 5.5;

Tabelul 5.5

$I_{LED} = 0$	U_{FT} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FT} [mA]									
$I_{LED} = 10$ mA	U_{FT} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FT} [mA]									
$I_{LED} = 20$ mA	U_{FT} [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
	I_{FT} [mA]									

✓ pentru fiecare valoare a intensității curentului prin LED, I_{LED} = **ct**, reglează sursa S_2 astfel încât valorile tensiunii $U_{CE} = U_{FT}$ să fie cele indicate în tabelul 5.5;

✓ pe baza datelor obținute prin măsurări, trasează prin puncte caracteristicile statice ale fototranzistorului $I_{FT} = f(U_{FT}) \mid I_{LED}$ = **ct** în sistemul de axe de coordonate din figura 5.51.

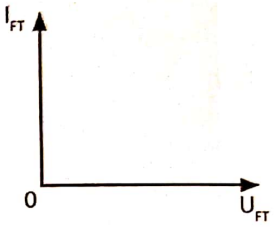


Fig. 5.51

☛ **Trasarea caracteristicii statice de transfer a optocuplorului $I_C = f(I_{LED}) \mid U_{CE}$ = ct**

✓ realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 5.52;

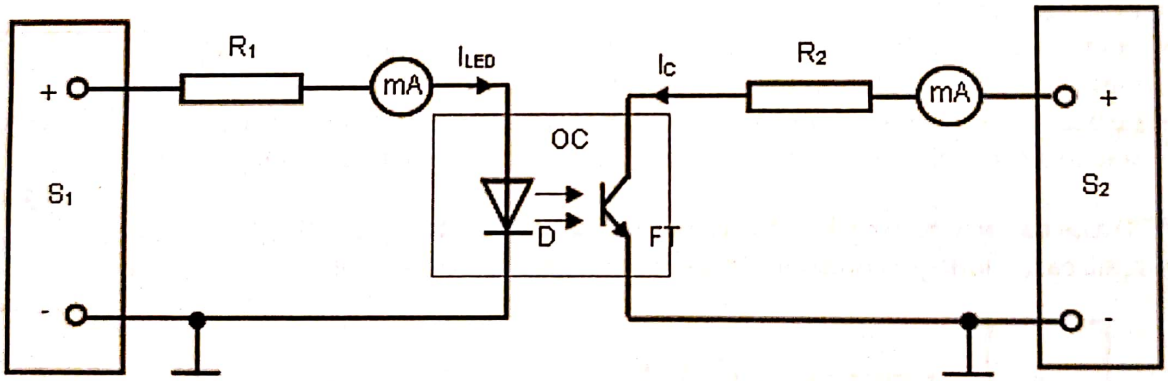


Fig. 5.52

✓ reglează sursa de alimentare S_2 la valoarea de **10 V**;

✓ reglează sursa de alimentare S_1 astfel încât intensitatea curentului prin LED să aibă valorile indicate în tabelul 5.6;

Tabelul 5.6

$I_{LED} = 0$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
I_C [mA]											

✓ pentru fiecare valoare a intensității curentului prin LED, măsoară intensitatea curentului I_C;

✓ pe baza datelor din tabelul 5.6, trasează prin puncte caracteristica de transfer în sistemul de axe de coordonate din figura 5.53.

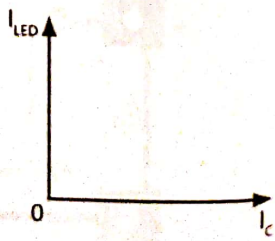


Fig. 5.53

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Utilizarea cataloagelor de dispozitive optoelectronice

▸ ***Obiective:***
– identificarea unui dispozitiv optoelectronic în catalog;
– precizarea parametrilor dispozitivului optoelectronic din catalog;
– indicarea unităţilor de măsură pentru parametrii precizaţi;
– selectarea unui dispozitiv în funcţie de domeniul de utilizare;
– compararea dispozitivelor din punctul de vedere al parametrilor.

▸ ***Desfăşurarea lucrării:***
Se dau următoarele extrase simplificate din catalogul de dispozitive optoelectronice:

Fotodioda	Tensiunea inversă maximă	Curentul direct maxim	Puterea disipată	Sensibilitatea
BPX40	18 V	5 mA	–	13 nA/lx
BPX94	18 V	10 mA	300 mW	8 nA/lx

Fototranzistor	Tensiunea C -E maximă	Curentul colector maxim	Puterea disipată	Sensibilitatea
BPW22	30 V	25 mA	50 mW	> 5,7 µA/lx
BPW29	32 V	100 mA	300 mW	> 0,25 µA/lx

LED	Culoare	Curentul direct maxim	Tensiunea directă	Intensitatea luminoasă	Lungimea de undă
L660	roşu	30 mA	1,7 V	5 mcd/10 mA	660 nm
L590	galben	30 mA	2,1 V	32 mcd/10 mA	590 nm
L565	verde	25 mA	2,2 V	32 mcd/10 mA	565 nm
L430	albastru	30 mA	4,5 V	60 mcd/20 mA	430 nm

Afişaj 7 segmente	Mărimea cifrelor	Curentul direct maxim	Tensiunea inversă maximă	Puterea disipată	Intensitatea luminoasă
CQY81	7,6 x 5,2 mm	30 mA	3 V	400 mW	0,25 mcd/20 mA

Optocuplor	LED			Fototranzistor			Optocuplor	
	I_F	V_R	P_D	U_{CE}	I_C	P_D	I_C/I_F	$U_{izolaţie}$
CNY22	30 mA	2 V	50 mW	50 V	30 mA	200 mW	25%	2800 V

Scanned with OKEN Scanner

▸ ***Cerințe:***

1. Identifică parametrii-limită pentru fiecare dintre dispozitivele optoelectronice din tabelul de mai sus.
2. Identifică parametrii optici pentru fiecare dintre dispozitivele listate în extrasul simplificat de catalog.
3. Compară o fotodiodă cu un fototranzistor, din punctul de vedere al parametrilor acestora.
4. Explică parametrul *intensitatea luminoasă*: 5 mcd (milicandela) la un curent de 10 mA. Ce dispozitiv caracterizează?
5. Identifică parametrul LED-ului care determină culoarea radiației emise și, din tabelul prezentat mai sus, determină valoarea acestuia pentru fiecare culoare.
6. Numește parametrii specifici optocuplorului și unitățile lor de măsură.
7. Realizează un extras simplificat de catalog de dispozitive optoelectronice, după modelul dat mai sus.

Studiu de caz

Identificarea tipurilor constructive de dispozitive optoelectronice

Acasă, fiecare dintre noi are foarte multe dispozitive optoelectronice cu care interacționează.

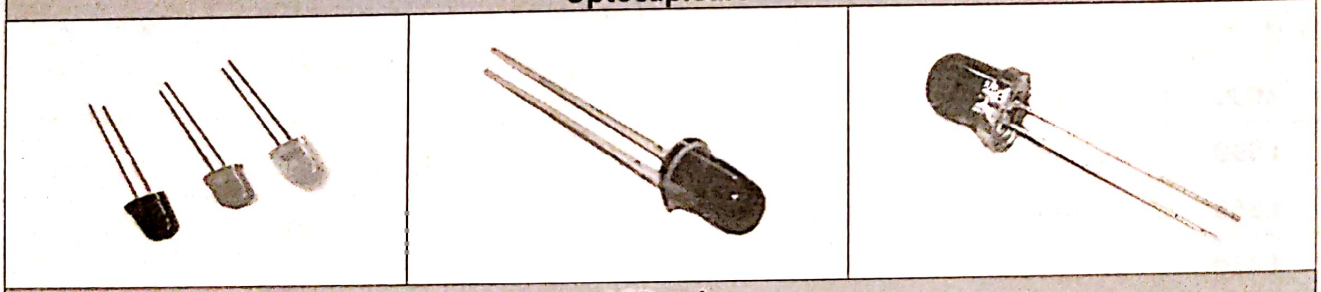
În laboratorul de electronică, în atelier sau acasă la tine, identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, Internet etc.), diferite tipuri constructive de dispozitive optoelectronice.

Analizează fiecare dispozitiv.

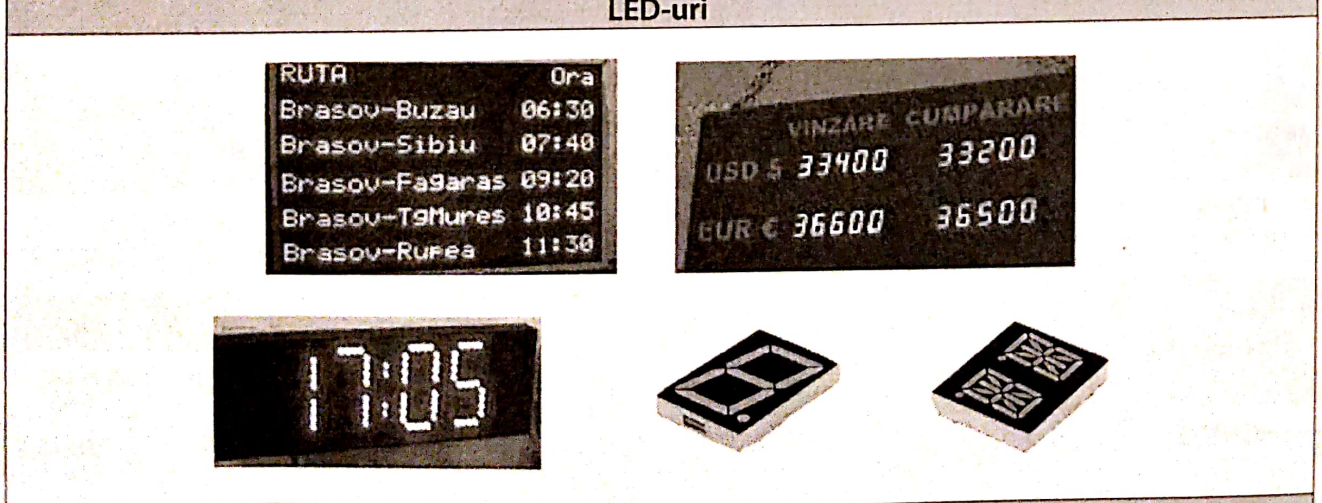
Compară dispozitivele analizate.

Exemple:

Optocuploare



LED-uri



Sisteme de afișare

Scanned with OKEN Scanner

Capitolul 6 Circuite electronice simple

6.1. Surse de alimentare

Toate aparatele electronice au nevoie, pentru a funcţiona corect, de alimentare în curent continuu. În acelaşi timp, există foarte multe alte instalaţii electrice care funcţionează în curent continuu.

Energia electrică este distribuită în reţea sub formă de curent alternativ. De aceea, sunt necesare instalaţii capabile să transforme curentul alternativ în curent continuu.

Pentru obţinerea acestor tensiuni sau curenţi se utilizează sursele de alimentare.

În figura 6.2 este prezentată schema-bloc a unei surse de alimentare, iar în figura 6.3, mărimile şi componentele sale:

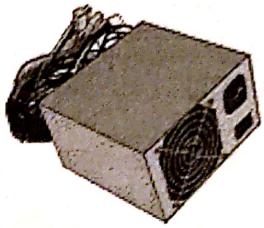


Fig. 6.1. *Sursă de alimentare*

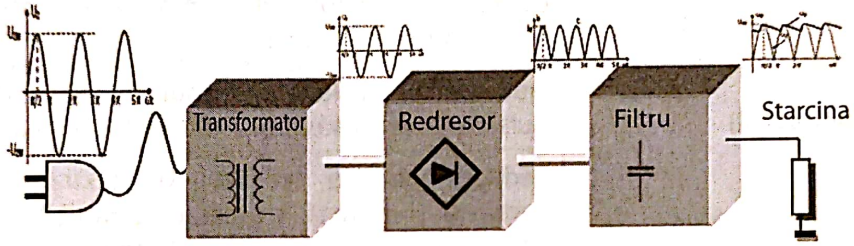
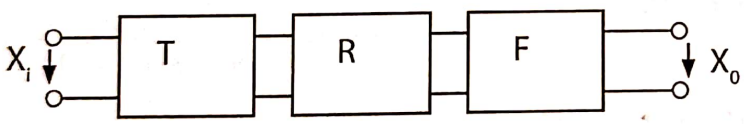


Fig. 6.2. *Schema-bloc a unei surse de alimentare*



X_i – semnal de la reţea (alternativ)
T – transformator
R – redresor
F – filtru
X_o – semnal de ieşire

Fig. 6.3. *Mărimile şi componentele unei surse de alimentare*

A. Redresoare

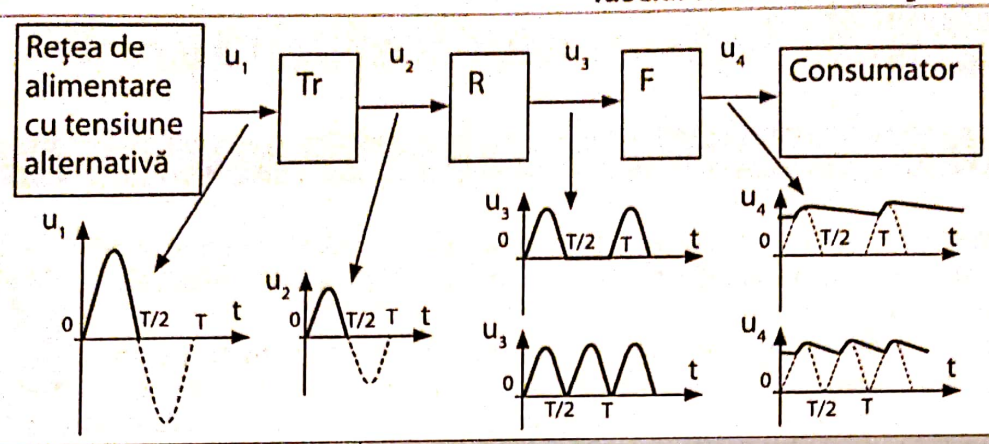
Redresoarele sunt circuite electronice care transformă energia electrică de curent alternativ în energie electrică pulsatorie de aceeaşi polaritate, având o componentă continuă.

Ştiaţi că ...?

Karl Ferdinand Braun *a descoperit, în anul 1874, că unele cristale au proprietatea de a permite, în anumite condiţii, trecerea curentului electric într-un singur sens.*
Greenleaf Whittier Pickard a realizat, în anul 1906, şi a brevetat în anul 1911, ceea ce el a denumit detectorul cu „mustăţi de pisică" (cat whisker). Numele venea de la forma pe care o avea dispozitivul: un mic cristal de galenă (sulfură de plumb) prevăzut cu contacte metalice şi terminale subţiri flexibile, asemănătoare unor mustăţi de pisică.
Fenomenul de de redresare apărea la contactul dintre cristal şi metal.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.1. *Schema bloc generală a unui redresor*



Părți componente	Rol funcțional
Transformatorul de alimentare (T_r)	Are rolul de a modifica valoarea tensiunii de rețea, în conformitate cu tensiunea continuă necesară alimentării consumatorului. Totodată, realizează și separarea rețelei de alimentare de consumator.
Redresorul propriu-zis (R)	Transformă tensiunea sinusoidală U_2 într-o tensiune pulsatorie de aceeași polaritate cu tensiunea U_3.
Filtrul (F)	Reduce pulsațiile tensiunii U_3. (Extrage componenta continuă și elimină, pe cât este posibil, componentele alternative ce apar la ieșirea redresorului).

În tabelul 6.1 este reprezentată schema-bloc generală a unui redresor și semnificația blocurilor componente.

Schema-bloc trebuie privită ca o schemă de principiu, deoarece în unele situații poate lipsi transformatorul de rețea sau filtrul de netezire (eventual amândouă).

Tipuri de redresoare

Redresoarele se clasifică, în general, în două mari categorii:

- redresoare simple (necomandate), realizate, de obicei, cu diode;
- redresoare comandate (reglabile), realizate cu alte tipuri de dispozitive electronice (tiristoare) care permit reglarea, în limite largi, a valorii medii a curentului redresat sau a tensiunii redresate;

În funcție de numărul de faze ale transformatorului de alimentare, redresoarele se clasifică în:

- redresoare monofazate;
- redresoare polifazate.

În continuare, vom studia numai redresoarele simple monofazate.

Observație *Nu trebuie confundat circuitul de redresare, denumit pe scurt redresor, cu aparatele electronice cu ajutorul cărora se încarcă acumulatorul unui automobil. Aceste aparate au în componență un circuit redresor, de unde le vine și numele, dar, pe lângă acest circuit mai conțin și alte circuite electronice. Pentru aceste aparate, este mai corectă denumirea de încărcător, fiind asemănătoare, ca și concepție, cu dispozitivele cu care se încarcă acumulatorul unui laptop sau al unui telefon mobil.*

- ***Redresorul monoalternanță cu sarcină rezistivă***

Circuitul conține diode redresoare care lucrează la frecvență joasă și, din cauza neliniarității caracteristicii lor, produc efectul de redresare.

Scanned with OKEN Scanner

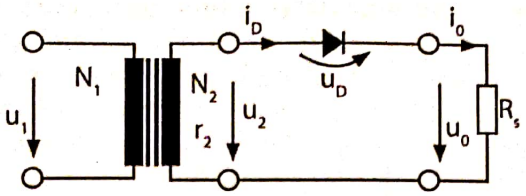


Fig. 6.4. Redresor monoalternanţă

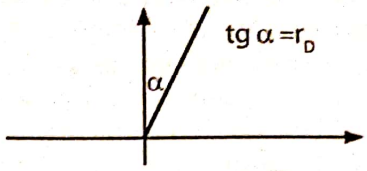


Fig. 6.5. Caracteristica statică liniarizată a unei diode

În figura 6.4 este prezentat un redresor monoalternanţă, iar în figurile 6.6. a,b,c,d sunt reprezentate formele de undă pentru tensiunea alternativă, u_2, (fig. 6.6.a), curentul prin diodă, respectiv prin sarcină, $i_D = i_0$ (fig. 6.6.b), tensiunea pe sarcină, $u_0 = i_0 \times R_s$ (fig. 6.6.c) şi tensiunea pe diodă, U_R (fig. 6.6.d).

Pentru a putea înţelege mai uşor funcţionarea redresorului, aproximăm liniar pe porţiuni caracteristica neliniară a diodei, aşa cum se arată în figura 6.5.

Conform acestei aproximări, când potenţialul anodului este mai mare decât potenţialul catodului, adică **în alternanţa pozitivă, dioda se comportă ca o rezistenţă de valoare foarte mică r_D** (proximativ zero), iar atunci când potenţialul anodului este mai mic decât potenţialul catodului, adică **în alternanţa negativă, ea se comportă ca o rezistenţă de valoare foarte mare (infinită).**

Ca urmare, alternanţa pozitivă se regăseşte pe rezistenţa de sarcină, în timp ce pe durata alternanţei negative, curentul în sarcină este nul. Deci, putem spune că valoarea curentului prin diodă şi prin sarcină poate fi definită pe intervale, dacă:

$u_2 = U_2\sqrt{2}\ \sin\omega t = U_{2M}\sin\omega t$, astfel:

$$\begin{cases} i_D = i_0 = i_M \sin\omega t, \text{ pentru } 0 \le \omega t \le \pi \\ i_D = i_0 = 0, \text{ pentru } \pi \le \omega t \le 2\pi \end{cases}$$

Valoarea maximă a curentului prin diodă se determină aplicând legea a doua a lui Kirchhoff pe ochiul format de transformator, diodă şi rezistenţa de sarcină:

$$I_M = \frac{U_{2M}}{R_T + r_D = R_S} = \frac{U_{2M}}{R_i + R_S} \text{ unde:}$$

$RT = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 r_1 + r_2$ reprezintă rezistenţa transformatorului, iar

$R_i = R_T + r_D$ reprezintă rezistenţa totală de pierderi.

Tensiunea pe sarcina rezistivă va fi:
$u_0 = R_s \times i_0$.
Se demonstrează că valoarea medie a curentului prin diodă şi prin sarcină este:

$$I_0 = \frac{I_M}{\pi}$$

Tensiunea medie (redresată) va fi:

$$U_0 = R_S I_0 = R_S \frac{I_M}{\pi} = \frac{R_S}{R_i + R_S} x \frac{U_{2M}}{\pi}$$

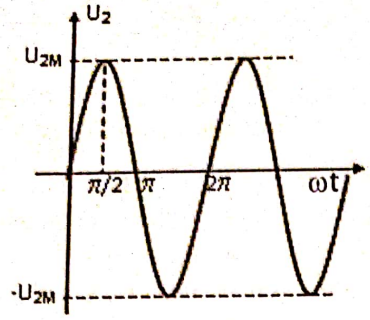
Această tensiune conţine, pe lângă componenta medie (continuă) şi o componentă variabilă, numită ondulaţie.

Deoarece $R_i << R_S$, rezultă că: $U_0 \approx \frac{U_{2M}}{\pi} \approx 0{,}45 \cdot U_2$

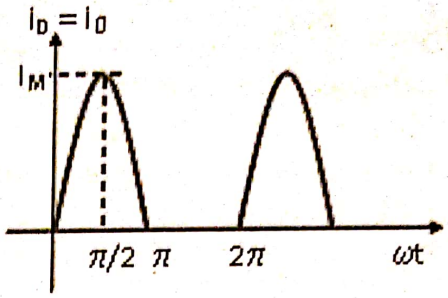
Scanned with OKEN Scanner

Valoarea efectivă a curentului prin sarcină este:

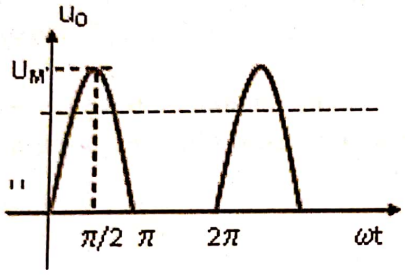
$$I_{0ef} = \frac{I_M}{2}$$



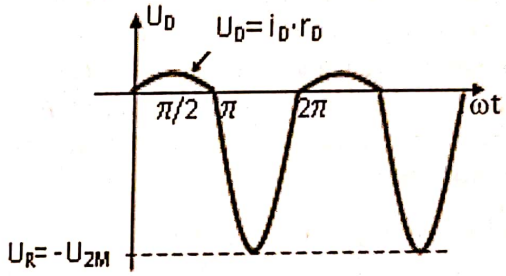
a) Variația tensiunii la intrarea în redresor



b) Variația curentului prin diodă și prin sarcină



c) Variația tensiunii pe sarcină



d) Variația tensiunii care cade pe diodă

***Fig. 6.6.** Formele de undă pentru un redresor monoalternanță*

Suntem acum în măsură să definim **principalele caracteristici ale unui redresor:**

- **caracteristica externă**: $U_0 = U_0(I_0)$, adică dependența tensiunii redresate de curentul prin sarcină;
- **randamentul;**
- **factorul de ondulație;**
- **valorile maxime ale curentului prin diodă și ale tensiunii pe diodă.**

a) Pentru a determina **caracteristica externă**, se elimină R_s din expresia lui U_0 și se obține:

$$U_0 = \frac{U_2}{\pi} - R_i I_0$$

Examinând caracteristica externă se constată că **tensiunea redresată scade pe măsură ce crește curentul prin sarcină,** datorită pierderilor pe rezistența internă, R_i, a redresorului.

b) **Randamentul redresării** se definește ca raportul dintre puterea de curent continuu în sarcină și puterea totală de la intrare:

$$\eta = \frac{R_S I_0^2}{(R_i + R_S) I_{0ef}^2} = \frac{I_0^2}{I_{0ef}^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} < 40\%$$

Valoarea maximă a randamentului este de **40%,** valoare ce se obține pentru $R_i << R_s$. Această valoare scăzută se datorează faptului că forma de undă redresată este departe de a fi o valoare continuă, ci are variații mari între valoarea maximă și zero, precum și intervale când este nulă.

c) Acest lucru este descris și de **factorul de ondulație,** care se referă la forma semnalului obținut la ieșire.

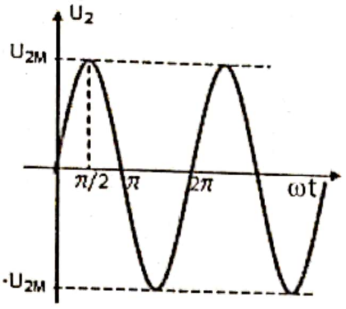
d) **Valorile maxime ale curentului și tensiunii pe diodă**, importante pentru proiectarea redresorului, sunt:

- curentul maxim prin diodă este $I_{DM} = I_M$; trebuie să fie mai mic decât curentul maxim admis specificat în catalog pentru dioda aleasă;
- tensiunea inversă maximă pe diodă (figura 6.6.d), care se atinge când dioda este blocată, este $U_R = -U_{2M}$ și trebuie să fie mai mică decât tensiunea inversă maximă admisă pentru diodă.

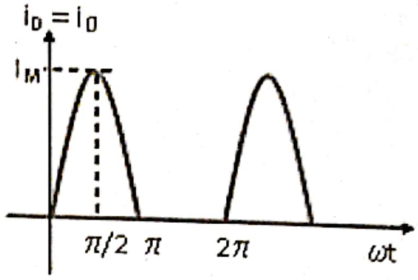
Scanned with OKEN Scanner

Valoarea efectivă a curentului prin sarcină este:

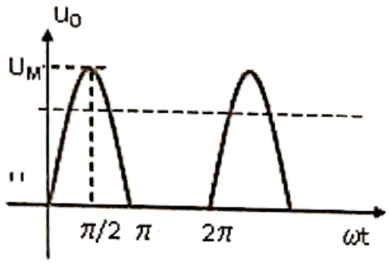
$$I_{0ef} = \frac{I_M}{2}$$



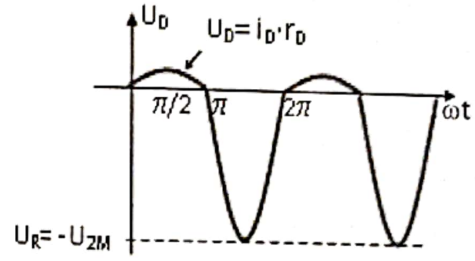
a) Variația tensiunii la intrarea în redresor



b) Variația curentului prin diodă și prin sarcină



c) Variația tensiunii pe sarcină



d) Variația tensiunii care cade pe diodă

Fig. 6.6. *Formele de undă pentru un redresor monoalternanță*

Suntem acum în măsură să definim **principalele caracteristici ale unui redresor:**

- **caracteristica externă**: $U_0 = U_0(I_0)$, adică dependența tensiunii redresate de curentul prin sarcină;
- **randamentul**;
- **factorul de ondulație**;
- **valorile maxime ale curentului prin diodă și ale tensiunii pe diodă**.

a) Pentru a determina **caracteristica externă**, se elimină R_s din expresia lui U_0 și se obține:

$$U_0 = \frac{U_2}{\pi} - R_i I_0$$

Examinând caracteristica externă se constată că **tensiunea redresată scade pe măsură ce crește curentul prin sarcină,** datorită pierderilor pe rezistența internă, R_i, a redresorului.

b) **Randamentul redresării** se definește ca raportul dintre puterea de curent continuu în sarcină și puterea totală de la intrare:

$$\eta = \frac{R_S I_0^2}{(R_i + R_S) I_{0ef}^2} = \frac{I_0^2}{I_{0ef}^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} = \frac{4}{} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} < 40\%$$

Valoarea maximă a randamentului este de **40%,** valoare ce se obține pentru $R_i << R_s$. Această valoare scăzută se datorează faptului că forma de undă redresată este departe de a fi o valoare continuă, ci are variații mari între valoarea maximă și zero, precum și intervale când este nulă.

c) Acest lucru este descris și de **factorul de ondulație,** care se referă la forma semnalului obținut la ieșire.

d) **Valorile maxime ale curentului și tensiunii pe diodă**, importante pentru proiectarea redresorului, sunt:

- curentul maxim prin diodă este $I_{DM} = I_M$; trebuie să fie mai mic decât curentul maxim admis specificat în catalog pentru dioda aleasă;
- tensiunea inversă maximă pe diodă (figura 6.6.d), care se atinge când dioda este blocată, este $U_R = -U_{2M}$ și trebuie să fie mai mică decât tensiunea inversă maximă admisă pentru diodă.

Scanned with OKEN Scanner

• ***Redresor monoalternanţă cu filtru capacitiv***

În cele mai multe cazuri, forma de undă obţinută la ieşirea redresorului nu este convenabilă pentru alimentarea aparaturii electronice, datorită ondulaţiilor mari. De aceea este necesar ca între redresor şi sarcină să se introducă un filtru trece jos, care are scopul de a opri componentele alternative ale tensiunii prin sarcină.

Cel mai simplu filtru se obţine cu ajutorul unui condensator, ca în figura 6.7. Un astfel de filtru se numeşte **filtru capacitiv**. În figura 6.8 este prezentată forma de undă a tensiunii care se obţine la ieşirea acestui redresor, comparativ cu forma de undă a tensiunii alternative, neredresate.

Datorită faptului că ondulaţiile tensiunii de ieşire se reduc considerabil, acest filtru se mai numeşte şi **filtru de netezire.**

Condensatorul se încarcă rapid prin rezistenţa mică a diodei în conducţie şi se descarcă lent în sarcină atunci când dioda este blocată. Ca urmare, timpul cât curentul trece prin sarcină creşte, iar ondulaţiile se reduc.

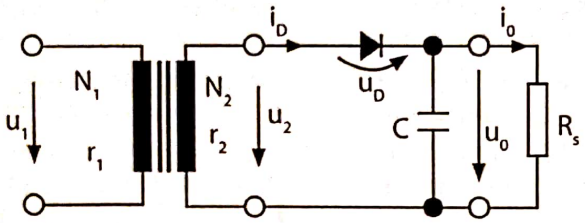


Fig. 6.7. *Redresor monoalternanţă cu filtru*

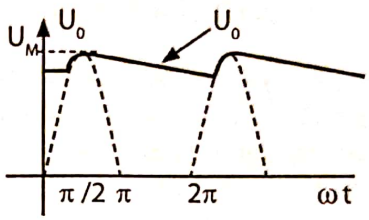


Fig. 6.8. *Forma de undă a tensiunii în sarcină*

• ***Redresorul dublă alternanţă cu transformator cu priză mediană***

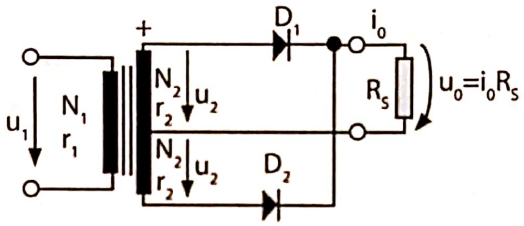


Fig. 6.9. *Redresor dubla alternanţă cu transformator cu priza mediană*

Pentru redresarea ambelor alternanţe ale tensiunii de alimentare se montează două redresoare monoalternanţă în paralel, conectate în aşa fel încât o diodă conduce în alternanţa pozitivă, iar cealaltă în alternanţa negativă. Acest lucru este posibil prin conectarea corespunzătoare a înfăşurărilor secundarului transformatorului, astfel încât tensiunile la bornele celor două secţiuni variază în antifază. Se obţine, în felul acesta, redresorul dublă alternanţă cu transformator cu priză mediană prezentat în figura 6.9.

Pentru a înţelege mai bine cum funcţionează acest redresor, în figura 6.10.a au fost figurate tensiunile şi curenţii pentru alternanţa pozitivă, iar în figura 6.10.b, pentru alternanţa negativă.

Astfel, **în alternanţa pozitivă:**

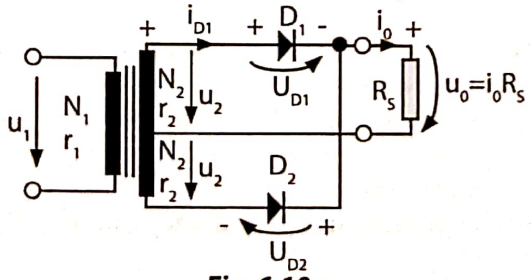


Fig. 6.10.a

- pe anodul diodei D_1 se aplică o tensiune pozitivă şi aceasta (D_1) conduce, fiind parcursă de curentul i_{D1} şi $u_{D1} \cong 0{,}6$ V;
- pe anodul diodei D_2 se aplică o tensiune negativă, ceea ce face ca D_2 să fie blocată, deci $i_{D2} \cong 0$ şi $u_{D2} \cong 2\,u_2$;
- sarcina este parcursă de curentul i_0 şi i_{D1}, în sensul marcat pe figură, deci: $u_0 = i_0 R_S$.

Scanned with OKEN Scanner

În **alternanța negativă**:

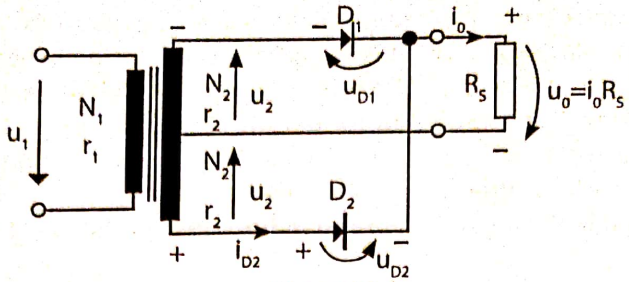


Fig. 6.10.b

pe anodul diodei D_1 se aplică o tensiune negativă, ceea ce face ca D_1 să fie blocată, deci $i_{D1} \cong 0$ și $u_{D1} \cong 2\,u_2$;

- pe anodul diodei D_2 se aplică o tensiune pozitivă și aceasta (D_2) conduce, fiind parcursă de curentul i_{D2} și $u_{D2} \cong 0{,}6$ V;
- sarcina este parcursă de curentul $i_0 \cong i_{D2}$, în același sens ca și în alternanța pozitivă, deci: $u_0 = i_0 R_S$.

În figura 6.11 sunt prezentate formele de undă corespunzătoare tensiunii în secundar (fig. 6.11.a), curentului i_{D1} (fig. 6.11.b), curentului i_{D2} (fig. 6.11.c), curentului prin sarcină, i_0, (fig. 6.11.d), precum și tensiunii pe dioda D_1, u_{D1} (fig. 6.11.e).

Curentul în sarcină va fi $i_0 = i_{D1} + i_{D2}$ și va avea întotdeauna același sens. Expresia matematică a acestui curent este de forma:

$$i_0 = I_M |\sin \omega t|$$

Expresia curentului mediu redresat este:

$I_0 = \frac{2I_M}{\pi} I_0$, iar a tensiunii medii la bornele lui R_S:

$$U_0 = R_S I_0 = R_S \frac{2I_M}{\pi} = \frac{R_S}{R_i + R_S} \cdot \frac{2U_{2M}}{\pi} \approx \frac{2U_{2M}}{\pi} \approx 0{,}9\ U_{2M}$$

Valoarea efectivă a curentului în sarcină este:

$$I_{oef} = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$$

Se observă că atât curentul, cât și tensiunea medie au valori duble față de cazul redresorului monoalternanță.

Randamentul acestui redresor este:

$$\eta = \frac{R_S I_0^2}{(R_i + R_S) I_{0ef}^2} = \frac{I_0^2}{I_{0ef}^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_S}} \approx 80\%$$

deci este dublu față de randamentul redresorului monoalternanță.

Se observă că și forma semnalului este mai apropiată de cea a curentului continuu, ceea ce face ca și factorul de ondulație să fie mai bun.

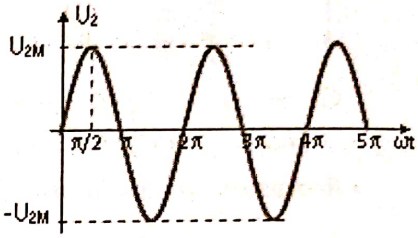
Toate argumentele expuse mai sus demonstrează calitatea superioară a acestui tip de redresor față de cel monoalternanță.

Valorile maxime ale curentului și tensiunii prin diodă, care ne arată gradul de solicitare a diodelor, sunt:

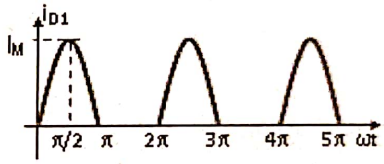
- curentul maxim $I_{DM} = I_M$, trebuie să fie mai mic decât curentul maxim admis specificat în catalog pentru dioda aleasă;
- tensiunea inversă maximă pe diodă (fig. 6.11.e), care atinge când dioda este blocată, este:

$$U_D = -2\,U_2$$

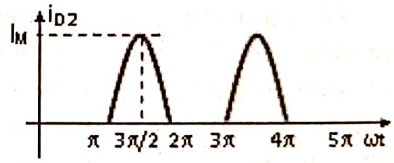
și trebuie să fie mai mică decât tensiunea inversă maximă admisă pentru diodă.



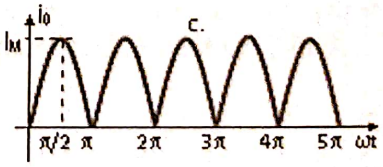
a. *Variația tensiunii la intrarea în redresor*



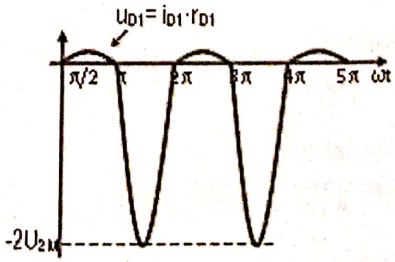
b. *Variația curentului prin dioda D_1*



c. *Variația curentului prin dioda D_2*



d. *Variația curentului prin sarcină*



e. *Variația tensiunii pe diode*

Fig. 6.11. *Formele de undă pentru un redresor dublă alternanță*

Scanned with OKEN Scanner

De reținut!

Avantajele acestui redresor, față de cel monoalternanță, sunt o formă de undă mai apropiată de cea continuă și un randament mai bun.

Dezavantajele constau într-o schemă mai complicată și mai costisitoare (transformator cu priză mediană) precum și prin condiții mai severe impuse diodelor redresoare în privința tensiunii inverse maxim admise.

- ***Redresorul dublă alternanță cu punte de diode***

Pentru a elimina dezavantajele redresorului prezentat în paragraful anterior, păstrând în același timp avantajele obținute, se utilizează redresorul dublă alternanță cu punte de diode. Acesta este prezentată în figura 6.12.

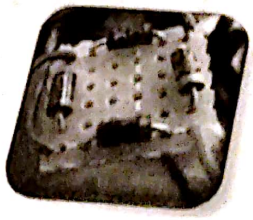


Fig. 6.12. *Punte de diode*

Cele patru diode redresoare formează brațele unei punți, la care alimentarea în curent alternativ se face printr-o diagonală a punții, de la secundarul unui transformator, iar tensiunea redresată se culege la bornele unei rezistențe de sarcină, plasată în cealaltă diagonală a punții.

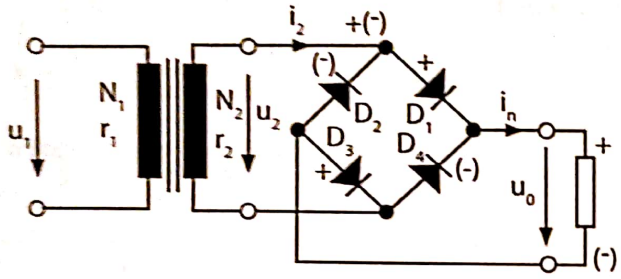


Fig. 6.13. *Redresorul dublă alternanță cu punte de diode și sarcină rezistivă*

Funcționarea redresorului:

- În timpul aplicării **alternanței pozitive**, conduc diodele D_1 și D_3, care sunt polarizate direct, în timp ce diodele D_2 și D_4 sunt blocate.
- La apariția **alternanței negative**, diodele D_1 și D_3 se blochează, în schimb, diodele D_2 și D_4 sunt polarizate direct și permit trecea curentului prin rezistența de sarcină.

Formele de undă pentru tensiunea din secundar, curenții prin cele două grupe de diode și curentul în sarcină sunt aceleași ca în cazul redresorului dublă alternanță cu transformator cu priză mediană (fig. 6.11.a, b, c și d), în schimb, tensiunea pe diode va avea aceeași formă ca în situația redresorului monoalternanță, în sensul că tensiunea inversă maximă pe diode va fi:

$$U_D = -U_{2M}$$

De reținut!

Redresorul cu punte de diode îmbină avantajele celorlalte tipuri de redresoare, eliminând dezavantajele acestora.

În cazul în care nu este necesară modificarea valorii maxime a tensiunii de alimentare, transformatorul poate să lipsească din schemă.

Observație

Cele patru diode care formează puntea se construiesc și înglobate într-o singură capsulă (fig. 6.14), de formă paralelipipedică sau cilindrică, ceea ce permite un montaj mai simplu, de dimensiuni mai mici, asigurând totodată o fiabilitate mai bună.

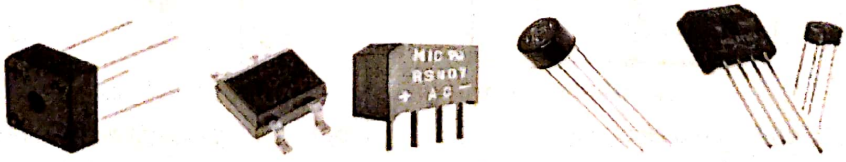


Fig. 6.14. *Punți redresoare*

Toate acestea fac ca acest tip de redresor să fie cel mai utilizat în schemele electronice.

Scanned with OKEN Scanner

• ***Redresorul dublă alternanță cu filtru capacitiv***

Și în cazul redresorului dublă alternanță, forma de undă obținută la ieșire este departe de cea a tensiunii continue. Deci și în acest caz se impune utilizarea unui „filtru de netezire". Și în această situație, filtrul cel mai des folosit este filtrul capacitiv, în forma sa cea mai simplă, după cum se arată în figura 6.15.

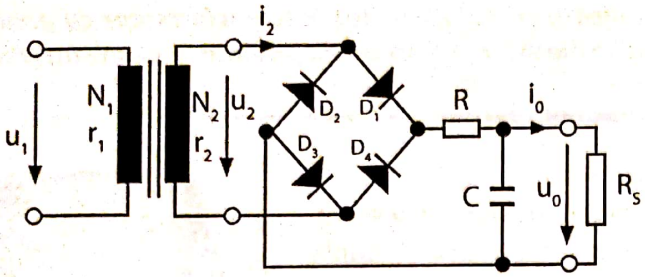


Fig. 6.15.a. *Schema electrică a redresorului dublă alternanță în punte cu filtru*

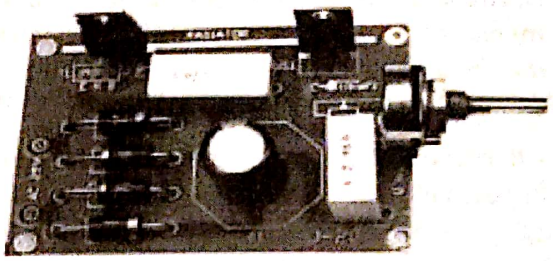


Fig. 6.15.b. *Montaj electronic*

Observație

În figura 6.16 este prezentată forma de undă a tensiunii prin sarcină. Variația acestei tensiuni se numește riplu. Riplul a fost mult exagerat; în mod normal, variația tensiunii de ieșire este de ordinul zecilor de milivolți.

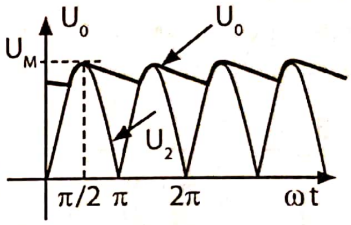


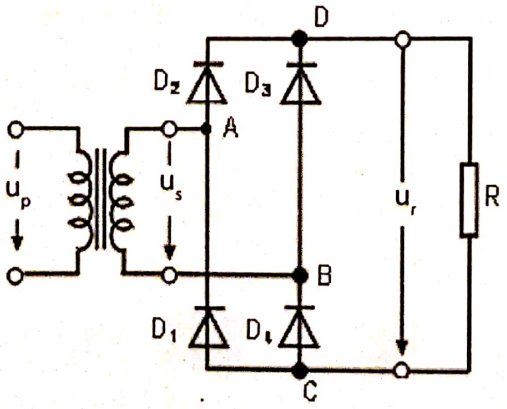
Fig. 6.16. *Forma de undă a tensiunii în sarcină*

De reținut!

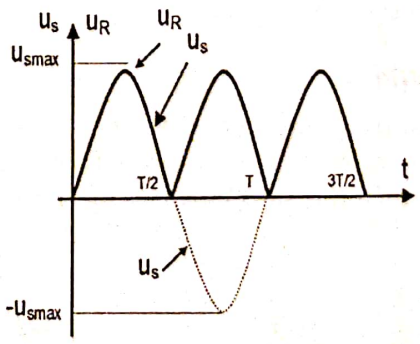
Rezistența R are rolul de a limita curentul prin diode, mai ales în momentul conectării tensiunii în primarul transformatorului, când condensatorul este descărcat și tinde să se încarce rapid prin rezistența mică a diodelor polarizate direct. Oricum, valoarea curentului de vârf prin diode este mult mai mare decât cea a curentului mediu redresat, deoarece sarcina pierdută de condensator la descărcare, pe aproape întreaga perioadă, trebuie recuperată într-un timp foarte scurt.

Evaluarea cunoștințelor

1. Precizează intervalele dintr-o perioadă în care diodele D_1, respectiv, D_2 din figura 6.17 sunt blocate.



a) *Schema electrică*



b) *Formele de undă pentru tensiunile u_s și u_R*

Fig. 6.17. *Redresorul monofazat dublă alternanță cu sarcină rezistivă – varianta în punte*

Scanned with OKEN Scanner

2. Identifică modul de conexiune al diodelor D_2 și D_4 din figura 6.18.

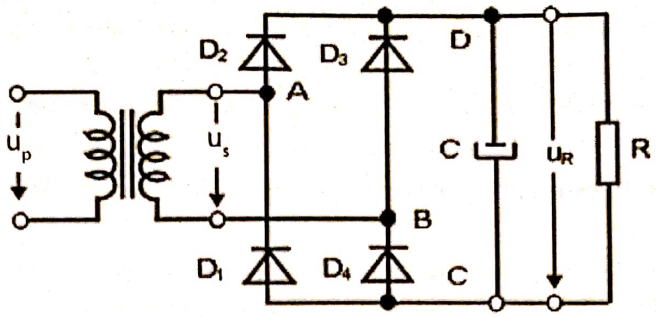


Fig. 6.18. *Schema electronică a redresorului monofazat dublă alternanță cu filtru*

3. Analizează schema electronică din figura 6.18 și stabilește dacă potențialul punctului D este pozitiv sau negativ.

4. Stabilește regimurile de funcționare ale diodelor D_3 și D_4 din figura 6.18, în intervalul *(0, T/2)*.

5. Pentru circuitul din figura 6.18 se cunoaște expresia tensiunii din secundarul transformatorului:

$u_s = 12\sqrt{2}\sin(100\pi t)$;

a) Calculează tensiunea medie redresată U_0.

b) Determină tensiunea maximă la bornele diodei D_1 și intervalul de timp cât durează această tensiune.

6. Reprezintă forma de undă a tensiunii u_R, dacă una dintre cele patru diode ale circuitului din figura 6.18 se străpunge.

Fișă de lucru

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. Tensiunea la ieșirea unui redresor monofazat dublă alternanță are valoarea maximă la momentul:

a) 0;
b) T/4;
c) T/2;
d) T.

2. Condensatorul *C* din schema electronică reprezentată în figura 6.18 se încarcă la valoarea de vârf în intervalul:

a) 0, T/4;
b) 0, T/2;
c) 0, T;
d) 0, 2T.

3. Dacă în timpul funcționării circuitului redresor monoalternanță dioda *D* se scurtcircuitează, tensiunea u_R va fi egală cu:

a) $u_R = 0$;
b) $u_R = u_S$;
c) $u_R = -u_S$;
d) $u_R = 2\,U_{Smax}$.

4. Randamentul unui redresor cu punte de diode are valoarea maximă:

a) 40%;
b) 50%;
c) 80%;
d) 100%.

Scanned with OKEN Scanner

5. Un redresor cu transformator cu priză mediană este alimentat de la rețeaua de 220 V. În acest caz, tensiunea inversă pe diode este aproximativ:

a) 170 V;
b) 220 V;
c) 620 V;
d) 440 V.

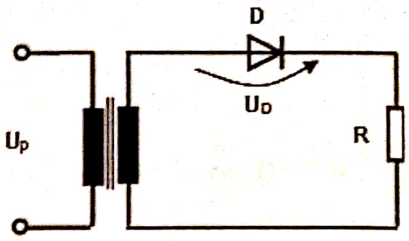


Fig. 6.19

6. Circuitul din figura 6.19 este alimentat de la o sursă cu tensiunea $u_p = 220\sqrt{2}\sin 100\omega t$.

Transformatorul se consideră ideal şi are factorul de transformare $k_T = 10$. Dacă se străpunge dioda D, tensiunea la bornele ei va fi egală cu:

a) 0 V;

b) $10\sqrt{2}\sin(100\omega t)$V;

c) $22\sqrt{2}\sin(100\omega t)$V;

d) $\frac{220\sqrt{2}}{\pi}$V.

7. Dacă în circuitul redresor monofazat monoalternanță din figura 6.20 se înlocuieşte condensatorul de capacitate C cu un condensator de capacitate 2 C, unghiul de conducție al diodei D:

a) se dublează;
b) se micşorează;
c) rămâne nemodificat;
d) devine egal cu *p*.

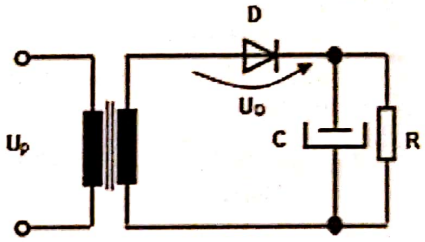


Fig. 6.20

8. Ştiind că $u_s = U\sqrt{2}\sin\omega t$, tensiunea inversă maximă aplicată fiecărei diode din figura 6.21 este:

a) $2\sqrt{2}$ U;

b) $\frac{\sqrt{2}U}{\pi}$;

c) $\sqrt{2}$ U;

d) $\frac{2\sqrt{2}U}{\pi}$.

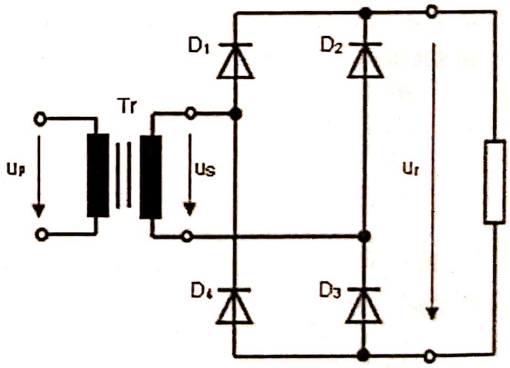


Fig. 6.21

9. Ştiind că $u_s = U\sqrt{2}\sin\omega t$ la ieşirea circuitului redresor din figura 6.21, tensiunea medie redresată U_0 este:

a) $2\sqrt{2}\ \frac{U}{\pi}$;

b) $\frac{U_M}{\pi}$;

c) $\frac{U\sqrt{2}}{\pi}$;

d) U_M.

Scanned with OKEN Scanner

II. Notează cu litera A în dreptul afirmațiilor de mai jos, dacă afirmațiile sunt adevărat, sau litera F, dacă acestea sunt false.

(A/F) 1. În intervalul de timp cât tensiunea la bornele diodei *D* din figura 6.20 este maximă, la ieşire tensiunea u_R are valoarea minimă.

(A/F) 2. Tensiunea redresată poate avea numai valori pozitive sau numai valori negative.

(A/F) 3. Condesatorul de filtraj are rolul de a mări pulsațiile tensiunii redresate.

(A/F) 4. Dacă în circuitul din figura 6.18 se înlocuieşte condensatorul de capacitate *C*, cu un alt condensator de capacitate *2 C*, tensiunea medie redresată se măreşte.

III. Rezolvă

1. Se consideră circuitul electric din figura 6.22. Valorile parametrilor componentelor din circuit sunt: $R_1 = R_2 = R_3 = 20\ k\Omega$, tensiunea $V_1 = 30\ V$, rezistența directă a diodei D_1 se consideră a fi neglijabilă.

a) Calculează intensitățile curenților electrici prin rezistorul R_1 și prin rezistorul R_3.

b) Calculează căderea de tensiune electrică pe rezistorul R_2.

c) Calculează intensitatea curentului electric prin rezistorul R_2 în cazul schimbării polarității sursei de alimentare.

d) În cazul în care sursa de alimentare V_1 se înlocuieşte cu o sursă de curent alternativ, reprezintă, pe fişa de lucru, formele de undă, corelate, pentru tensiunea V_1 şi pentru tensiunea pe rezistorul R_3.

2. Pentru circuitul reprezentat în figura 6.21 se cunosc valorile următoarelor elemente: $U_{Smax} = 31{,}4\ V$, $R_S = 1\ k\Omega$.

a) Calculează tensiunea medie redresată U_0;

b) Determină tensiunea inversă maximă pe diodă ($U_{inv.\ max}$);

c) Calculează curentul mediu redresat I_0.

3. Redresorul monoalternanță din figura 6.23 are o sarcină $R_s = 1\ k\Omega$ şi foloseşte o diodă semiconductoare a cărei rezistență dinamică este $r_D = 50\ \Omega$. Alimentarea se face de la rețeaua de curent alternativ de 220 V/50 Hz folosind un transformator cu factorul de transformare $k_T = 10$.

Determină valoarea tensiunii medii redresate la bornele rezistenței de sarcină şi valoarea maximă a curentului prin diodă.

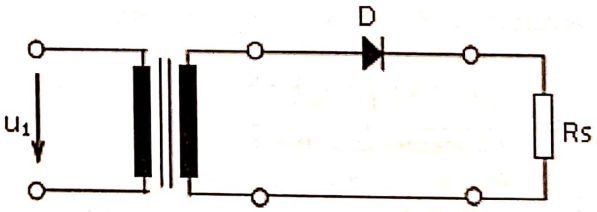


Fig. 6.23

Studiu de caz

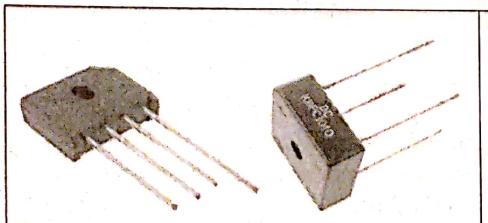
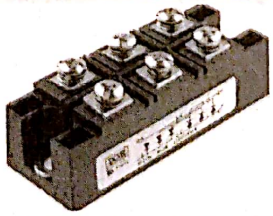
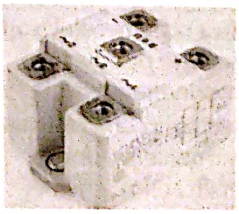
D. Identificarea tipurilor constructive de redresoare

Identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, internet etc.), diferite tipuri constructive de redresoare.

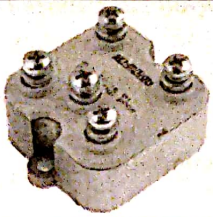
Analizează fiecare dispozitiv.

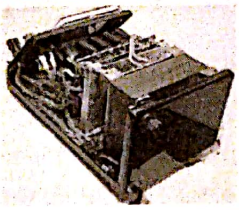
Compară dispozitivele analizate.

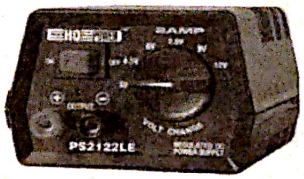
Identifică utilizările.

		
a)	*b)*	*c)*

Scanned with OKEN Scanner


d)


e)



f)

***Fig. 6.24.** Tipuri constructive de redresoare*

E. Cubul

Folosiţi un cub care semnifică, în mod simbolic, tema ce urmează a fi explorată: ***Redresoare.*** Cubul are înscrise pe fiecare dintre feţele sale *Reprezintă, Compară, Analizează, Asociază, Aplică, Argumentează.* Pe tablă, profesorul detaliază cerinţele de pe feţele cubului cu următoarele:

Reprezintă: reprezintă diferitele scheme de redresoare.
Compară: compară diferitele tipuri de redresoare.
Analizează: analizează funcţionarea fiecărui tip de redresor.
Asociază: reprezintă formele de undă pentru fiecare tip de redresor.
Aplică: realizează practic sau simulează cu ajutorul calculatorului un redresor.
Argumentează: avantajele şi dezavantajele fiecărui tip de redresor.

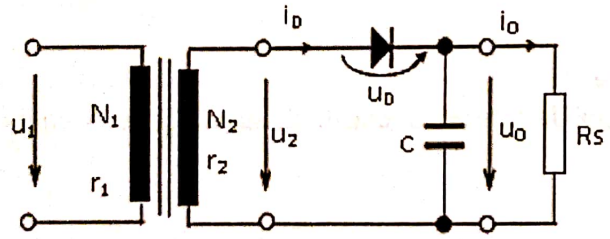
Activitatea se va desfăşura cu 6 echipe. Conducătorul fiecărei echipe va rostogoli cubul. Echipa sa va explora tema din perspectiva cerinţei care a căzut pe faţa superioară a cubului şi va înregistra totul pe o foaie de flipchart (cubul se va rostogoli de mai multe ori, astfel încât fiecare echipă să aibă teme diferite).

După terminarea sarcinilor de lucru, grupurile se reunesc în plen şi îşi vor afişa toate rezultatele, care vor fi analizate în plen şi, eventual, completate.

Lucrare practică

Redresorul monoalternanţă

Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un redresor monoalternanţă.

Schema electrică	Schema cablajului
	

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate				
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		multimetru	transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic	
3.	Precizarea parametrilor specifici şi a valorilor-limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic; cataloage de componente.	

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	
4.	Identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat conform documentaţiei tehnice			placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură	
5.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură	
6.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură fludor	
7.	Măsurarea tensiunii la ieşirea transformatorului		multimetru		
8.	Măsurarea tensiunii in sarcină		multimetru		

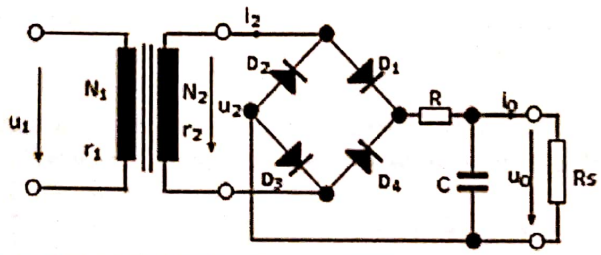
Notă:

Se vor alege componentele în funcţie de dotarea atelierului sau a laboratorului.

Lucrare practică

Redresorul dublă alternanţă cu punte de diode şi filtru capacitiv

Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un redresor dublă alternanţă cu punte de diode şi filtru capacitiv.

Schema electrică	Schema cablajului
	

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate				
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		multimetru	transformator, diode, rezistor, condensator electrolitic	
3.	Precizarea parametrilor specifici şi a valorilor limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	transformator, diode, rezistor, condensator electrolitic; cataloage de componente.	

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operații (faze) tehnologice	Baza tehnico-materială			Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale	
4.	Identificarea poziției componentelor pe cablajul imprimat conform documentației tehnice			placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură	
5.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerințelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură	
6.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		placa de test; transformator, dioda, rezistor, condensator electrolitic conductori de legătură fludor	
7.	Măsurarea tensiunii la ieşirea transformatorului		multimetru	redresorul dubla alternanță	
8.	Măsurarea tensiunii în sarcină		multimetru	redresorul dubla alternanță	
9.	Vizualizarea tensiunii la ieşirea transformatorului		osciloscop	redresorul dubla alternanță	
10.	Vizualizarea tensiunii la ieşirea redresorului		osciloscop	redresorul dubla alternanță	
11.	Vizualizarea tensiunii la bornele sarcinii		osciloscop	redresorul dubla alternanță	

Notă:
Se vor alege componentele în funcție de dotarea atelierului sau a laboratorului.

B. Stabilizatoare

Rolul stabilizatorului în aparatura electronică. Definiție

Tensiunea obținută la ieşirea sursei de alimentare are, pe lângă componenta continuă şi o componentă variabilă – ondulațiile. Pe lângă aceasta, tensiunea obținută la ieşire scade cu creşterea curentului de sarcină. De asemenea, existența dispozitivelor semiconductoare face ca această tensiune să fie dependentă de temperatură.

Toate acestea fac necesară utilizarea unui circuit care să asigure independența tensiunii (curentului) de alimentare a aparatelor electronice de toți acești factori.

Un astfel de circuit se numeşte stabilizator.

Stabilizatorul este un circuit electronic care se conectează **între sursa de alimentare nestabilizată şi consumator** şi care, ideal, **asigură la ieşire un semnal independent de tensiunea de intrare, de curentul de sarcină (rezistența de sarcină) şi de temperatură.**

Sursa de semnal care conține şi stabilizator se numeşte **sursă stabilizată**.

În figura 6.25 este prezentată schema-bloc a sursei de tensiune stabilizată, iar în figura 6.26, mărimile şi componentele sale caracteristice.

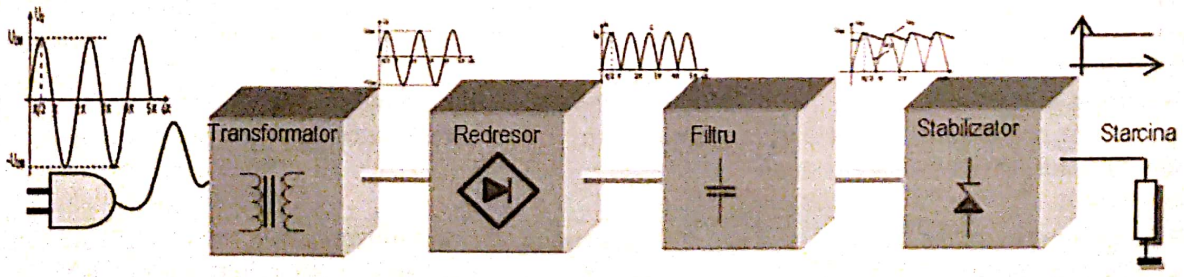


Fig. 6.25. *Sursă de tensiune stabilizată*

Scanned with OKEN Scanner

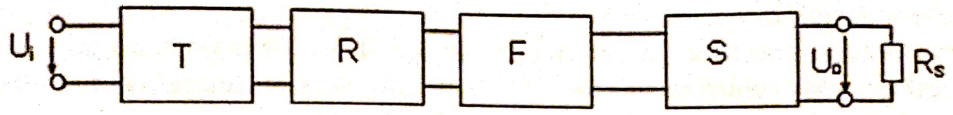


Fig. 6.26. *Mărimile şi componentele unei surse de tensiune stabilizată: U_i – semnal de la reţea (alternativ); T – transformator; R_s – rezistenţa de sarcină; R – redresor; F – filtru; S – stabilzator; U_0 – tensiune stabilizată.*

Principiul de funcţionare

În procesul de stabilizare se utilizează două tehnici principale: stabilizarea serie şi stabilizarea paralel.

• **Stabilizarea serie** (fig. 6.27.a) constă în plasarea unui **element regulator în serie cu rezistenţa de sarcină R_s**. În acest caz, **elementul regulator se comportă ca o rezistenţă variabilă a cărei mărime este controlată de tensiunea de ieşire**, U_0, prin bornele 2-3. Când tensiunea de intrare U_i creşte, tensiunea de ieşire, U_0, tinde să urmărească această creştere şi acţionează asupra elementului regulator, care-şi măreşte rezistenţa între bornele 1-2. În acest mod, creşterea tensiunii de intrare va fi compensată de căderea de tensiune între bornele 1-2, şi ca atare, tensiunea de ieşire va reveni la valoare iniţială. În cazul scăderii tensiunii de intrare, rezistenţa între bornele 1-2 îşi micşorează valoarea, astfel încât tensiunea de ieşire să rămână, de asemenea, neschimbată.

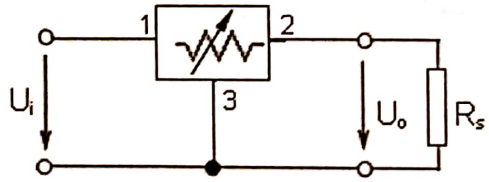


Fig. 6.27.a. *Stabilizarea serie*

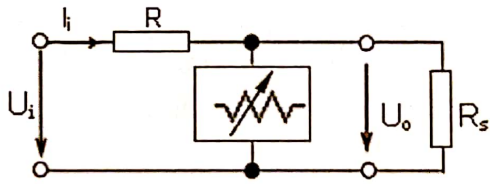


Fig. 6.27.b. *Stabilizarea paralel*

• **Stabilizarea paralel** (fig. 6.27.b) constă în plasarea unui **element regulator în paralel cu rezistenţa de sarcină R_s**. Elementul regulator, în acest caz, este un dispozitiv cu o **rezistenţă dinamică foarte mică în zona de lucru**, ceea ce permite ca variaţiile curentului care îl străbate să nu producă schimbări însemnate ale tensiunii la bornele lui.

Mecanismul procesului de stabilizare este următorul: odată cu creşterea tensiunii de intrare, U_i, creşte şi curentul de intrare I_i. Elementul regulator, având rezistenţa foarte mică în comparaţie cu rezistenţa de sarcină, va prelua întreaga variaţie a curentului de intrare.

Rezistenţa R, numită şi *rezistenţă de balast*, contribuie la realizarea stabilizării, preluând variaţiile tensiunii de intrare. Concomitent cu aceasta, rezistenţa R mai îndeplineşte şi rolul de a reduce la o valoare acceptabilă curentul care trece prin elementul regulator.

De reţinut!

Cele două metode de stabilizare prezintă atât avantaje, cât şi dezavantaje.

• Stabilizarea paralel are avantajul unei construcţii mai simple. De asemenea, dacă, accidental, ieşirea stabilizatorului paralel este pusă la masă, acesta nu va suferi stricăciuni majore, în condiţiile unei proiectări corespunzătoare.

• Stabilizarea serie, deşi conduce la scheme mai complexe, asigură performanţe mai bune şi are un randament mai mare. Punerea în scurtcircuit la masă a ieşirii poate conduce la distrugerea elementului regulator. Pentru a evita acest lucru, stabilizatoarele serie sunt, de obicei, prevăzute cu circuite de protecţie.

Clasificarea stabilizatoarelor

Clasificarea stabilizatoarelor se face după mai multe criterii, astfel:

a) *După parametrul electric menţinut constant*:

- **stabilizatoare de tensiune;**
- **stabilizatoare de curent.**

Scanned with OKEN Scanner

b) *După metoda de stabilizare*:
- **stabilizatoare parametrice** – la care stabilizarea se realizează în buclă deschisă;
- **stabilizatoare electronice cu reacție** – la care stabilizarea se realizează în buclă închisă, tensiunea de ieşire fiind permanent comparată cu o tensiune de referință;
- **stabilizatoare electronice cu compensare** – la care stabilizarea se realizează în buclă închisă, tensiunea de intrare fiind permanent comparată cu o tensiune de referință;
- **stabilizatoare electronice în regim de comutație** – la care elementul regulator funcționează discontinuu, încărcând un acumulator de energie (un condensator), care furnizează tensiunea de ieşire pe durata când încărcarea condensatorului este întreruptă.

c) *După modul de conectare a elementului de reglaj*:
- **stabilizatoare serie** – la care elementul regulator este plasat în serie cu rezistența de sarcină;
- **stabilizatoare paralel** (derivație) – la care elementul regulator este plasat în paralel cu sarcina.

Parametrii stabilizatoarelor de tensiune

Parametrii unui stabilizator de tensiune se clasifică în două categorii:
- valori-limită absolută;
- caracteristici electrice.

Valorile-limită absolută, care descriu încărcarea maximă a stabilizatorului, reprezintă parametri prin a căror respectare se garantează funcționarea stabilizatorului în conformitate cu specificațiile caracteristicilor electrice. Atingerea sau depăşirea lor conduce, de obicei, la deteriorarea ireversibilă a stabilizatorului. Valorile-limită absolută indicate, de regulă, de producători sunt:
- tensiunea maximă de intrare, U_{iMax};
- puterea disipată, P_{DMax};
- domeniul de temperaturi ambiante de funcționare, $T_{AMax} - T_{Amin}$.

Caracteristicile electrice descriu funcționarea propriu-zisă a stabilizatorului; ele se referă la:

a) limitele de intrare şi ieşire, ca de exemplu:
- tensiunea de intrare, U_i;
- tensiunea de ieşire, U_0;
- curentul de vârf de ieşire, I_{0M};

Scanned with OKEN Scanner

- curentul de ieşire în scurtcircuit, I_{sc};
- curentul consumat în gol, I_G.

b) precizia cu care se controlează nivelul tensiunii la ieşire în domeniul de variaţie, la acţiunea unor factori perturbatori.

Stabilizatoare parametrice

Stabilizatoarele parametrice sunt circuite stabilizatoare care îşi bazează funcţionarea pe neliniaritatea caracteristicii curent – tensiune a dispozitivului electronic folosit (în general – o diodă stabilizatoare).

În figura 6.28.a este prezentată schema de principiu a unui stabilizator parametric cu diodă stabilizatoare.

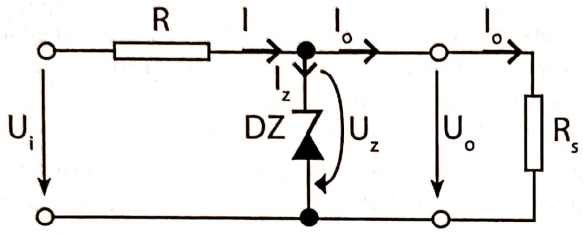


Fig. 6.28.a. *Stabilizator parametric cu diodă stabilizatoare*

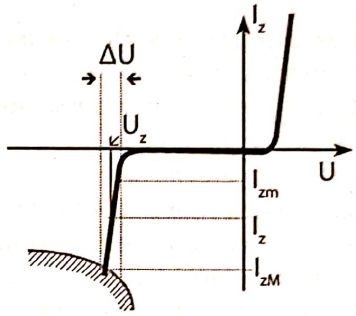


Fig. 6.28.b. *Caracteristica statică a diodei stabilizatoare*

Principiul de funcţionare

Funcţionarea stabilizatorului se bazează pe **caracteristica neliniară a diodei stabilizatoare** (fig. 6.28.b).

Din această caracteristică se observă că, în regiunea de stabilizare, pentru variaţii mari ale curentului prin diodă, I_{Zm} , I_{ZM}, tensiunea la bornele acesteia variază foarte puţin, cu DU, în jurul valorii U_Z. Acest comportament se datorează rezistenţei dinamice foarte mici pe care o are dioda în regiunea de stabilizare.

Observaţie *Caracteristica este desenată exagerat pentru a se putea observa variaţia DU; în realitate, această variaţie este foarte mică.*

Analizând schema, în figura 6.29 se constată că, în cazul în care tensiunea de intrare variază, acest lucru determină variaţia curentului I. Dacă dioda este în regiunea de stabilizare, având rezistenţa foarte mică, preia întreaga variaţie a curentului, păstrând la bornele sale o tensiune aproximativ constantă, U_Z.

Tensiunea de ieşire, U_0, este egală cu U_Z şi se menţine şi ea constantă.

Valorile nominale accesibile pentru U_Z sunt de la câţiva volţi până la sute de volţi, iar pentru I_Z de la miliamperi la zeci de miliamperi.

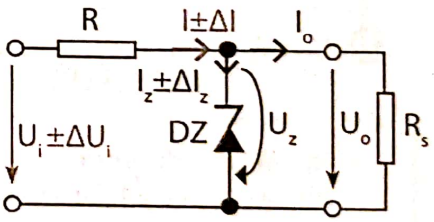


Fig. 6.29. *Funcţionarea stabilizatorului*

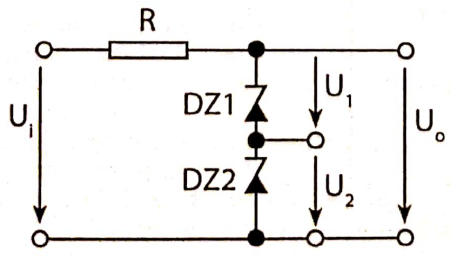


Fig. 6.30. *Stabilizator cu diode Zener legate în serie*

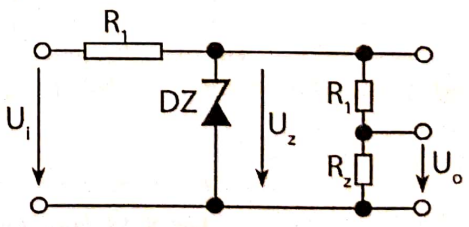


Fig. 6.31. *Stabilizator cu divizor rezistiv*

Scanned with OKEN Scanner

Observație *Tensiunea la ieșirea stabilizatorului fiind chiar tensiunea pe diodă: $U_0 = U_z$, este de dorit să alimentăm dioda la un curent constant în plaja de stabilizare ($I_{zm} \div I_{zM}$, unde I_{zm} este determinat de ieșirea din regiunea de stabilizare, iar I_{zM} este determinat din considerente de putere maximă disipată). Aceste cerințe sunt îndeplinite printr-o dimensionare corectă a rezistenței R.*

*Dacă este nevoie de **tensiuni mai mari** de stabilizare, se pot lega **în serie** mai multe diode stabilizatoare, $U_0 = U_1 + U_2$ (fig. 6.30).*

Dacă nu se dispune de o diodă stabilizatoare de tensiunea dorită se poate alege o diodă cu tensiunea mai mare, din care, printr-un divizor, se obține tensiunea necesară, $U_0 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_z$ (fig. 6.31).

Stabilizatoare electronice cu tranzistoare

Stabilizatoarele electronice sunt acele stabilizatoare care conțin elemente active (tranzistoare, amplificatoare operaționale), la care elementul de reglaj este comandat de un semnal de eroare. Acest semnal se obține prin compararea tensiunii de ieșire cu o tensiune fixă, numită tensiune de referință.

În stabilizatoarele electronice cu reacție efectul de stabilizare a tensiunii de ieșire este realizat printr-o reacție negativă, după cum se poate observa în figura 6.32.a, b. Detectorul de eroare, DE, compară permanent tensiunea de ieșire cu tensiunea de referință dată de sursa de referință (U_{Ref}). Semnalul de eroare obținut este aplicat elementului regulator (ER). În urma comparării se obține o tensiune, numită tensiune de reglaj, care comandă modificarea valorii rezistenței echivalente a elementului de reglaj. În felul acesta, elementul de reglaj preia variațiile tensiunii de intrare în vederea obținerii unei tensiuni de ieșire constante. În funcție de poziția elementului de reglaj în circuit, se deosebesc două tehnici de reglare:

- **reglare serie** (fig. 6.32.a), în care elementul de reglaj este în serie cu rezistența de sarcină;
- **reglare paralel** sau derivație (fig. 6.32.b), în care elementul de reglaj este în paralel cu rezistența de sarcină.

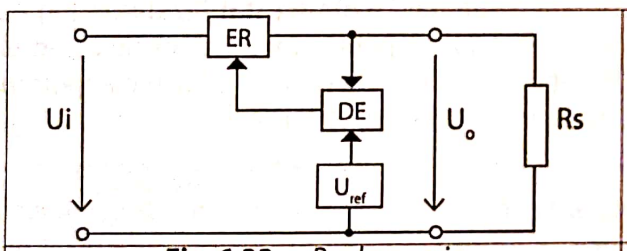


Fig. 6.32.a. *Reglare serie*

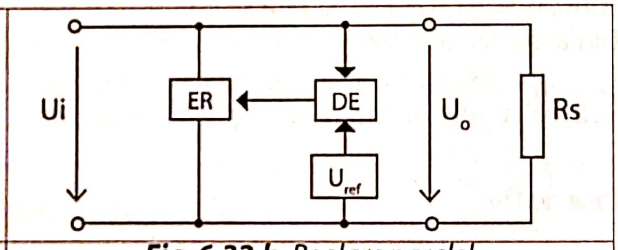


Fig. 6.32.b. *Reglare paralel*

Observație *Dacă tensiunea de eroare nu are amplitudinea suficientă pentru a comanda elementul de reglaj, se utilizează un amplificator de eroare.*

- ***Stabilizator de tensiune serie***

Schema cea mai simplă a unui stabilizator serie, cu reacție este cea din figura 6.33.

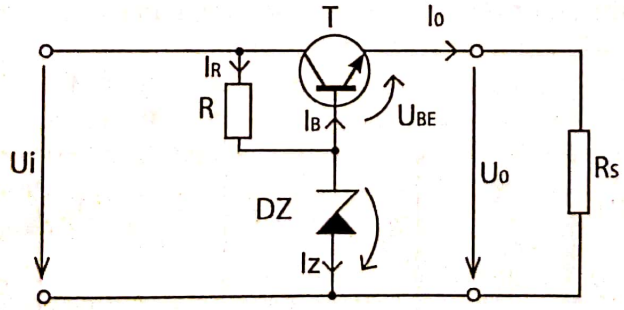


Fig. 6.33. *Funcționarea stabilizatorului serie*

În această schemă, elementul regulator este tranzistorul T. Tensiunea de referință este asigurată de dioda stabilizatoare DZ. Întreaga tensiune de ieșire este comparată cu tensiunea de referință, U_z, direct pe baza tranzistorului regulator.

Scriind legea a doua alui Kirchhoff pe ochiul de ieșire, se obține: $U_0 = U_z - U_{BE}$

Scanned with OKEN Scanner

Dacă tensiunea de ieşire creşte, dintr-o cauză oarecare, concomitent scade U_{BE}. Acest fapt va determina scăderea curentului de colector şi, implicit, a celui de emitor şi, deci, şi a curentului de ieşire, I_0, ceea ce va duce la scăderea tensiunii de ieşire, U_0, la valoare iniţială.

În cazul în care tensiunea de ieşire are o tendinţă de scădere, se produce creşterea tensiunii U_{BE}, şi, în consecinţă, creşterea curentului de colector, a curentului de emitor şi, deci, a curentului de ieşire, ceea ce va determina creşterea tensiunii de ieşire, U_0.

▸ Observaţii

1. Tranzistorul T lucrează în conexiunea colector comun (sarcina este în emitor). Cum potenţialul bazei este $U_B = U_z \cong$ constant, la ieşire, în emitor, se va regăsi acest potanţial aproximativ constant. Din acest motiv, montajul se mai numeşte şi *stabilizator repetor pe emitor.*
2. Tensiunea la ieşirea stabilizatorului este chiar tensiunea pe diodă: $U_0 = U_z$ şi, ca urmare, este de dorit să alimentăm dioda la un curent constant în plaja de stabilizare ($I_{zm} \div I_{zM}$). Aceste cerinţe sunt îndeplinite printr-o dimensionare corectă a rezistenţei R.
3. Dioda stabilizatoare lucrează în condiţii mai uşoare decât în cazul stabilizatorului parametric, preluând numai variaţiile curentului de bază al tranzistorului T, variaţiile curentului de ieşire fiind preluate de curentul de colector.
4. Tranzistorul T lucrează ca o rezistenţă variabilă între colector şi emitor, preluând astfel variaţiile de tensiune.
5. Tranzistorul T este, de obicei, un tranzistor de putere.
6. În caz de suprasarcină sau de scurtcircuit accidental, curentul prin tranzistorul serie poate creşte foarte mult, depăşind puterea maximă admisibilă. Pentru a preveni distrugerea acestuia se folosesc circuite ce limitează curentul maxim în sarcină al stabilizatorului (circuite de protecţie).

• ***Stabilizatoare de tensiune paralel***

În figura 6.34 este prezentat un stabilizator de tensiune derivaţie cu reacţie, fără amplificator de eroare.

Întreaga tensiune de ieşire, U_0, se compară cu tensiunea de referinţă, U_z, direct pe baza tranzistorului T. Deci, tensiunea la intrarea acestuia va fi: $U_{BE} = U_0 - U_z$.

Atunci când tensiunea de ieşire are tendinţa să crească, aceasta va determina şi creşterea tensiunii U_{BE} (deoarece $U_z \approx$ const). Aceasta duce la creşterea curentului prin tranzistorul regulator. Creşterea curentului prin tranzistor presupune şi creşterea curentului prin rezistenţa de balast, R, şi, ca urmare, creşterea căderii de tensiune pe această rezistenţă, care preia în felul acesta tendinţa de creştere de tensiune a lui U_0, care revine la valoarea iniţială.

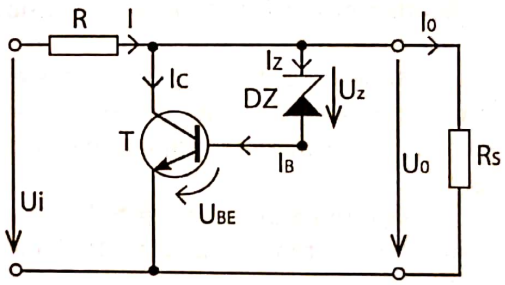


Fig. 6.34. *Funcţionarea stabilizatorului paralel*

De reţinut!

În cele ce urmează se realizează o comparaţie între tipurile de stabilizatoare prezentate:

• stabilizatoarele parametrice:
– schemă de complexitate redusă;
– sunt influenţate de variaţiile de temperatură:
– dioda stabilizatoare este suprasolicitată; este necesară o diodă de putere;
– au randament redus.

• stabilizatoare cu reacţie de tip serie:
– schema mai complexă;
– există riscul distrugerii elementului regulator în caz de suprasarcină sau de scurtcircuit şi, deci, necesită circuite de protecţie;
– au un coeficient de stabilizare mai bun;
– au un randament sporit.

• stabilizatoare cu reacţie de tip derivaţie:
– schemă de complexitate mai redusă;
– nu necesită circuite de protecţie;
– au randament mai redus.

Concluzie: Deşi stabilizatoarele tip serie au o complexitate mai mare şi necesită circuite de protecţie, ele sunt preferate pentru că asigură o stabilizare mai bună şi un randament mai bun.

Scanned with OKEN Scanner

Rezumat

1. Redresoarele sunt circuite electronice care transformă energia electrică de curent alternativ în energie electrică pulsatorie de aceeaşi polaritate, având o componentă continuă.

2. Diodele, datorită faptului că prezintă conductibilitate unilaterală, sunt utilizate în circuitele de redresare.

3. Stabilizatorul este un circuit electronic care se conectează între sursa de alimentare nestabilizată şi consumator şi care, ideal, asigură la ieşire un semnal independent de tensiunea de intrare, de curentul de sarcină (rezistenţa de sarcină) şi de temperatură.

4. Pentru realizarea stabilizatoarelor se utilizează dioda stabilizatoare.

Fişă de lucru

1. Identifică, în imaginea din figura 6.35, elementele componenete ale unei surse de alimentare.

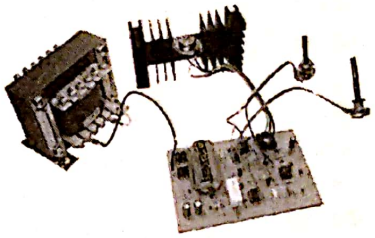


Fig. 6.35

2. În circuitul din figura 6.36, pe capsula rezistorului R, este inscripţionat următorul cod: maro, negru, roşu, argintiu, E = 24 V, iar dioda Zener are tensiunea nominală U_z = 12 V. Determină valoarea potenţiometrului P astfel încât să se asigure un curent I_z = 10 mA.

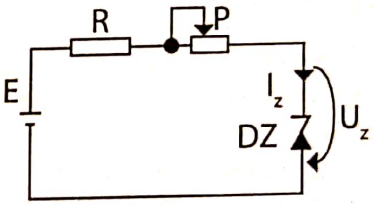


Fig. 6.36

3. Se consideră stabilizatorul de tensiune din figura 6.37, în care dioda Zener este de tip DZ 9V1, adică are tensiunea nominală: U_z = 9,1 V, iar puterea disipată maxim admisă pentru această diodă este P_{DZ} = 0,4 W.

Tensiunea de intrare este U_i = 12 ± 10%. Calculează valoarea minimă a rezistenţei R astfel încât dioda să nu se distrugă.

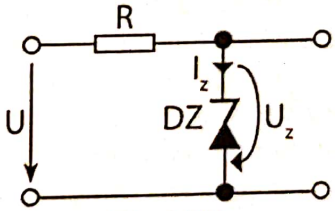


Fig. 6.37

4. În stabilizatorul de tensiune din figura 6.38 se foloseşte un tranzistor de tipul BD135, având parametrii:

b = 50 şi U_{BE} = 0,6 V. Rezistenţa de limitare a curentului prin diodă este R = 500 Ω. Tensiunea furnizată sarcinii este:

U_0 = 10 V.

a) Indică tipul de stabilizator.

b) Calculează valorile extreme ale curentului prin sarcină, dacă tensiunea de intrare variază între 20 V şi 40 V (U_i = 20 V, 40 V), ştiind că I_z = 10 mA.

c) Determină valoarea tensiunii de intrare, dacă I_0 = 1 A, iar I_z = 20 mA.

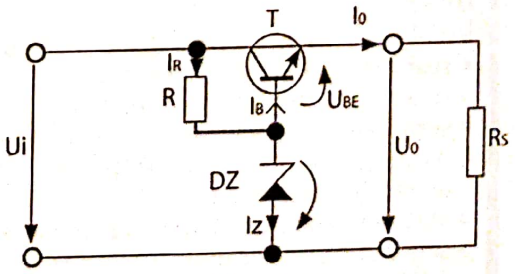


Fig. 6.38

Scanned with OKEN Scanner

Evaluarea cunoștințelor

I. Alege varianta corectă de răspuns:

1. Redresorul este un circuit electronic care transformă:
a) energia electrică de c.a. în energie electrică de c.c.;
b) energia electrică de c.c. în energie electrică de c.a.;
c) energia electrică de c.c. în energie electrică de c.c.;
d) energia electrică de c.a. în energie electrică de c.a.

2. Tensiunea u_r la ieşirea redresorului este:
a) pulsatorie de polaritate diferită;
b) pulsatorie de aceeaşi polaritate;
c) continuă;
d) alternativă.

3. Randamentul redresoarelor monofazate, monoalternanţă are valoarea aproximativă:
a) $\tau \approx 1$; b) $\tau \approx 80\%$;
c) $\tau \approx 40\%$; d) $\tau \approx 100\%$.

4. Randamentul redresoarelor monofazate dublă alternanţă are valoarea aproximativă:
a) $\tau \approx 1$; b) $\tau \approx 80\%$;
c) $\tau \approx 40\%$; d) $\tau \approx 100\%$.

5. Tensiunea U_{AB} la ieşirea circuitului din figura 6.39 este egală cu:
a) U; b) U_Z;
c) $U_Z + 2\,U_D$; d) 0.

6. Valoarea tensiunii U_{AB} la bornele A, B ale circuitului din figura 6.40 este:
a) $U_{AB} = U$; b) $U_{AB} = U_Z$;
c) $U_{AB} = U_Z + 2\,U_D$; d) $U_{AB} = 0$.

7. Analizînd funcţionarea circuitului din figura 6.41, rezultă că:
a) $U_{AB} = U$; b) $U_{AB} = U_Z$;
c) $U_{AB} = U_Z + U_D$; d) $U_{AB} = 0$.

8. Circuitul din figura 6.42 este alcătuit din diode cu siliciu. Dacă dioda D este scurtcircuitată, tensiunea U_{AB} are valoarea:
a) $U_{AB} \approx 0{,}75$ V; b) $U_{AB} \approx U_Z$;
c) $U_{AB} = U_Z + U_D$; d) $U_{AB} = U$.

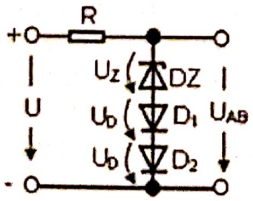


Fig. 6.39

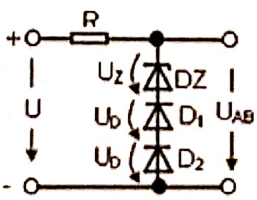


Fig. 6.40

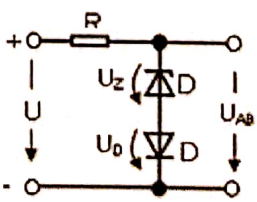


Fig. 6.41

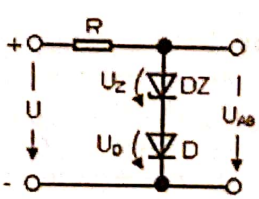


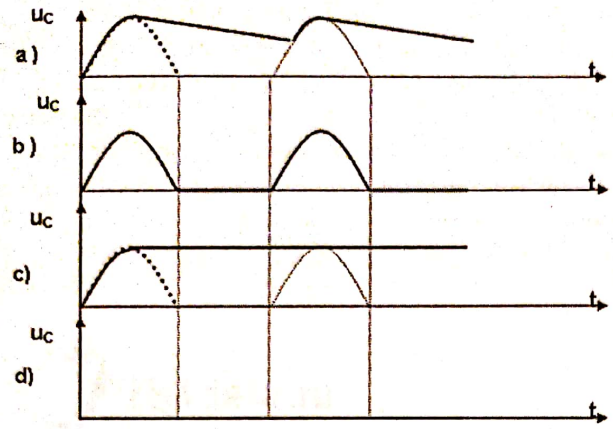
Fig. 6.42

9. Intervalul de timp în care dioda unui redresor monofazat monoalternanţă ideal cu sarcină rezistivă se află în conducţie pe durata unei perioade (T) este:

a) T; b) $\frac{T}{2}$; c) $\frac{T}{4}$; d) 2 T.

Scanned with OKEN Scanner

10. Evoluţia tensiunii u_c la ieşirea circuitului din figura 6.43 este:



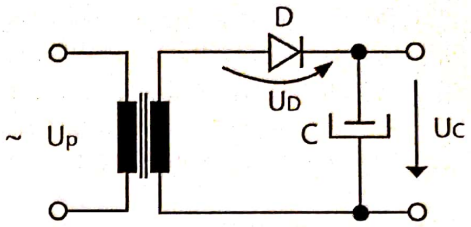


Fig. 6.43

11. Funcţia condensatorului din figura 6.44 este:

a) de redresare;
b) de amplificare;
c) de filtrare;
d) de multiplicare.

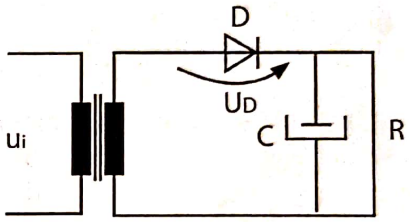


Fig. 6.44

12. Un redresor cu punte de diode este alimentat de la reţeaua de 220 V. În acest caz, tensiunea inversă pe diode este aproximativ:

a) 170 V; b) 220 V; c) 310 V; d) 240 V;

13. Ce tip diode se pot folosi pentru construcţia unei punţi redresoare dacă semnalul de intrare este $u(t) = 15 \sin(\pi t)$?

a) diode redresoare;
b) diode cu contact punctiform;
c) diode stabilizatoare;
d) diode varicap.

14. Stabilizatorul de tensiune este un circuit electronic care:

a) furnizează o tensiune constantă;
b) serveşte la micşorarea variaţiilor tensiunii de alimentare a stabilizatorului până la limitele impuse de performanţele consumatorului;
c) furnizează o tensiune liniară;
d) furnizează o tensiune alternativă.

15. Un stabilizator se montează în circuit astfel:

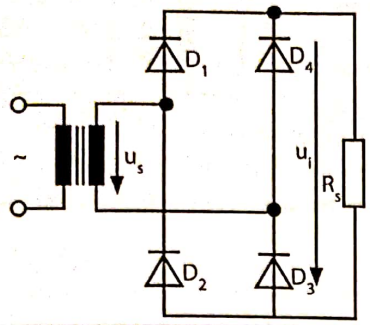
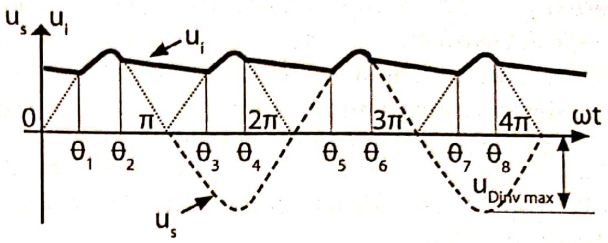
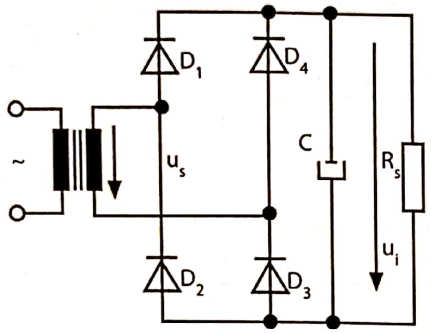
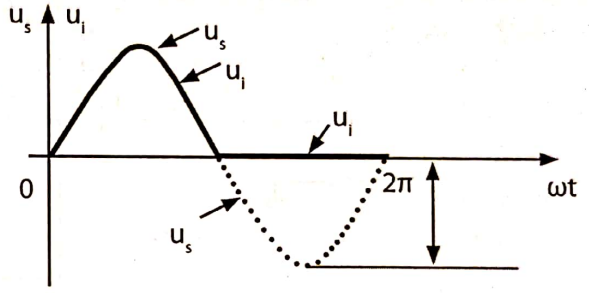
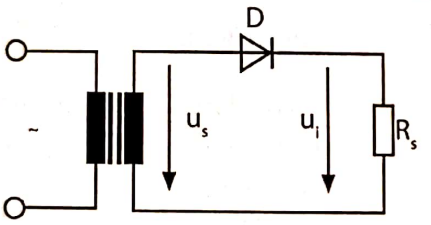
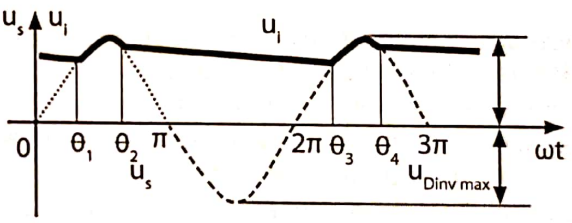
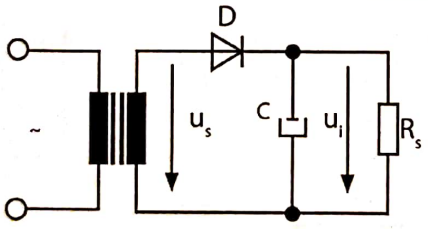
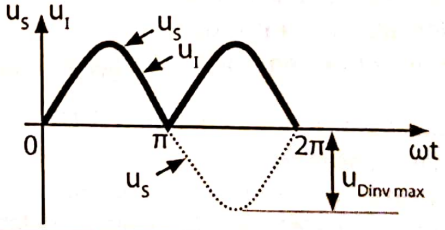
a) după redresor, înaintea filtrului;
b) după filtru, înaintea rezistenţei de sarcină;
c) după sursa de energie, înaintea redresorului
d) după rezistenţa de sarcină.

16. Stabilizatoarele parametrice de tensiune se pot realiza cu:

a) diode tunel;
b) LED-uri;
c) diode Zener;
d) diode dectectoare.

Scanned with OKEN Scanner

II. În coloana A sunt indicate scheme de redresoare, iar în coloana B, forme de undă. Stabilește asocierile corecte dintre fiecare cifră din coloana A și litera corespunzătoare din coloana B.

Schema electronică	Formele de undă ale tensiunilor
1. 	a. 
2. 	b. 
3. 	c. 
4. 	d. 

III. 1. Notează cu litera A în dreptul afirmațiilor de mai jos, dacă afirmațiile sunt adevărate, sau cu litera F, dacă acestea sunt false.

A/F a) Diodele redresoare se utilizează și în circuite alimentate cu tensiune de înaltă frecvență.

A/F b) Tensiunea la ieșirea unui circuit redresor este pulsatorie de aceeași polaritate.

A/F c) Scurtcircuitarea unei diode dintr-un circuit redresor monofazat dublă alternanță în punte transformă circuitul într-un redresor monofazat monoalternanță.

2. Referitor la circuitele stabilizatoare de tensiune, răspunde la următoarele cerințe:

a) Explică rolul circuitelor stabilizatoare în aparatura electronică.

b) Denumește doi parametri caracteristici ai stabilizatoarelor de tensiune și precizează relația de definiție pentru aceștia.

c) Indică tipurile de tehnici de reglare și explică, în fiecare caz, folosindu-te de schema-bloc de principiu, cum acționează elementului de reglaj pentru stabilizarea tensiunii.

Scanned with OKEN Scanner

IV. Rezolvați următoarele probleme

1. Pentru circuitul redresor din figura 6.45, se cunosc: raportul de transformare $K_T = 10$ și valoarea efectivă a tensiunii la bornele înfășurării primare $U_{pef} = 220$ V. Transformatorul și dioda redresoare se consideră ideale.

a) calculează valoarea medie a tensiunii redresate.

b) calculează tensiunea inversă maximă la bornele diodei D.

c) determină momentul de timp la care tensiunea u_s la bornele înfășurării secundare admite primul maxim.

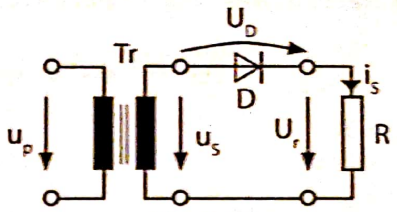


Fig. 6.45

2. În figura 6.46 este prezentată o sursă de alimentare proiectată pentru a avea la ieșire o tensiune de 12 V și un curent de 0,5 A.

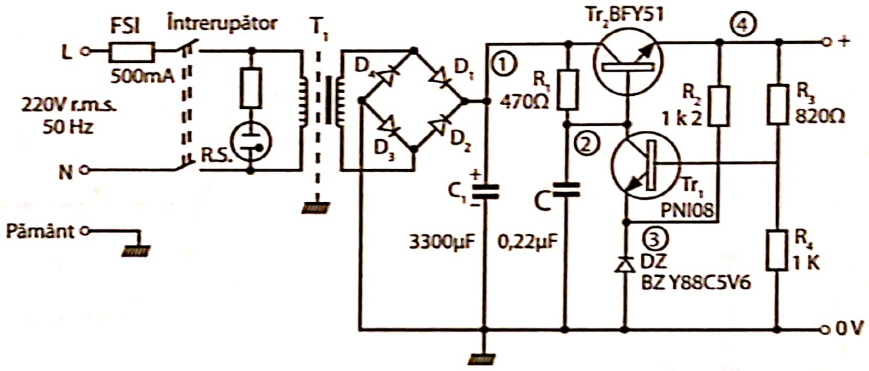


Fig. 6.46

a) Precizează elementele de circuit care furnizează tensiunea continuă nestabilizată.

b) Precizează elementele de circuit care furnizează tensiunea de referință.

c) Indică valoarea tensiunii măsurate în punctul de măsură 3, în cazul în care dioda DZ este în scurtcircuit.

d) Descrie simptomele în cazul următoarelor defecte:

– primarul transformatorului este întrerupt;

– o diodă din puntea redresoare este întreruptă;

– o diodă din puntea redresoare este în scurtcircuit;

– condensatorul C_1 întrerupt;

– joncțiunea baza-emitor a tranzistorului T_{r2} întreruptă.

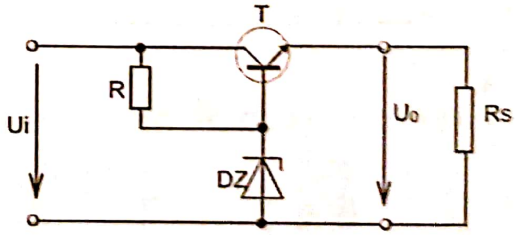


Fig. 6.47

3. Se consideră circuitul din figura 6.47.

a) Precizează tipul de circuit.

b) Precizează rolul tranzistorului bipolar în funcționarea schemei și explică modul în care își realizează funcția.

c) Precizează tipul conexiunii în care este utilizat tranzistorul schemei.

d) Precizează rolul diodei stabilizatoare și modul de polarizare al acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

Redresoare

▸ ***Obiective***

- Realizarea circuitelor redresoare şi verificarea funcţionării acestora folosind osciloscopul, respectiv voltmetrul;
- Verificarea influenţei condensatoarelor de filtrare asupra formei şi a mărimii tensiunii redresate;
- Identificarea deosebirilor dintre redresorul dublă alternanţă în punte şi redresorul cu transformator cu priză mediană.

▸ ***Desfăşurarea lucrării***

▸ ***Componente, aparate, elemente de conectare***

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/ caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_S	470 Ω
		R_S	10 kΩ
	Condensatoare	C_1	10 μF/35 V
		C_2	100 μF/65 V
	Diode redresoare	D, $D_1 \div D_4$	IN 4007
	Punte redresoare		1 PM 05
	Transformatoare de reţea	Tr	220 V/2X12 V_{ef}
Aparate	Multimetru numeric sau analogic	V	
	Osciloscop cu două spoturi sau două osciloscoape	OSC	
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

1. Redresoare monofazate monoalternanţă

1.1. Redresorul monofazat monoalternanţă cu sarcină rezistivă

- realizează montajul conform schemei electronice din figura 6.48;

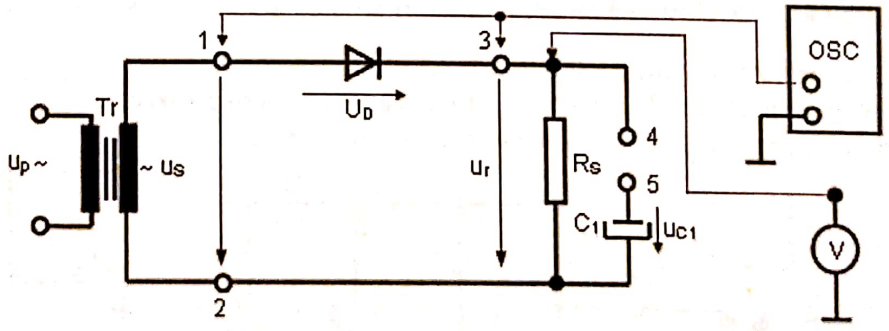


Fig. 6.48

- conectează osciloscopul, succesiv, între bornele 1-2, 1-3, 3-2 şi vizualizează formele de undă ale tensiunilor u_s, u_D, u_r (u_s – tensiunea alternativă la bornele înfăşurării secundare, u_D – tensiunea la bornele diodei redresoare, u_r – tensiunea redresată), măsoară amplitudinile U_{SM} şi U_{RM}, precum şi frecvenţele f_{us} şi f_{ur} ale tensiunilor u_s şi u_r, iar valorile înscrie-le în tabelul 6.1;
- reprezintă grafic, la aceeaşi scară, în sistemul de axe de coordonate din figura 6.49, tensiunile u_s, u_D, u_r;
- completează tabelul 6.1, ţinând seama de valorile tensiunilor măsurate şi de relaţiile:

Scanned with OKEN Scanner

$$u_s = U_{SM}\sin\omega t = \sqrt{2}U_s\sin\omega t;\ U_0 = \frac{U_{SM}}{\pi}$$

Tabelul 6.1

U_{SM} [V]	U_{rM} [V]	U_s [V]	U_0 [V]	f_{us} [Hz]	f_{ur} [Hz]	Relaţia dintre f_{us} şi f_{ur}	$U_{D\ inv\ max}$ pentru redresoare cu sarcină	
							R	RC

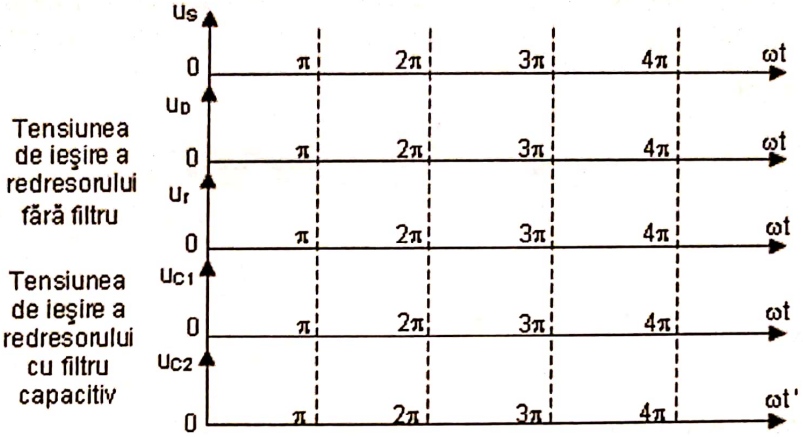


Fig. 6.49. *Sistemul de axe pentru trasarea formelor de undă*

- conectează între bornele 3 şi 2 un voltmetru de curent continuu, măsoară valoarea medie a tensiunii redresate U_0 şi compară această valoare măsurată cu valoarea calculată din tabelul 6.1.

1.2. Redresorul monofazat cu filtru

- la ieşirea redresorului, montează condensatorul C_1 (se scurtcircuitează bornele 4 şi 5);
- conectează osciloscopul la bornele condensatorului C_1, vizualizează tensiunea u_{c1} şi reprezintă grafic în sistemul de axe de coordonate din figura 6.45, folosind aceeaşi scară de reprezentare folosită şi pentru tensiunea u_s;
- conectează la bornele condensatorului un voltmetru de cc şi măsoară tensiunea medie redresată U_{0C1}, stabileşte o relaţie de ordine între U_0 şi U_{0C1};
- înlocuieşte condensatorul C_1 = 10 μF cu un condensator C_2 = 100 μF şi reia operaţiile de mai sus;
- analizează formele de undă din figura 6.45 şi formulează o concluzie referitoare la eficienţa filtrului capacitiv în funcţie de valoarea capacităţii.

2. Redresoare monofazate dublă alternanţă

2.1. Redresorul monofazat dublă alternanţă în punte cu sarcină rezistivă

- realizează montajul conform schemei electronice din figura 6.50;

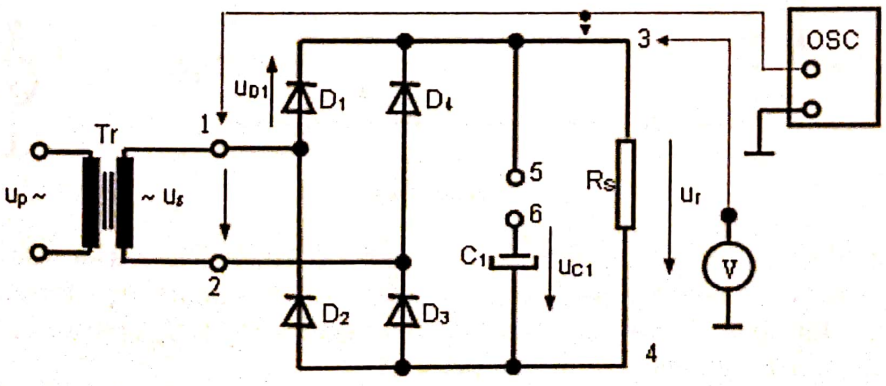


Fig. 6.50

Scanned with OKEN Scanner

- conectează osciloscopul, succesiv, între bornele 1-2, 1-3, 3-4 şi vizualizează formele de undă ale tensiunilor u_s, u_{D1}, u_r, măsoară amplitudinile U_{SM} şi U_{rM} precum şi frecvenţele f_{us} şi f_{ur} ale tensiunilor u_s şi u_r iar valorile înscrie-le în tabelul 4.3;
- conectează osciloscopul, succesiv, între bornele 1-2, 1-3, 3-4 şi vizualizează formele de undă ale tensiunilor u_s, u_{D1}, u_r, măsoară amplitudinile U_{SM} şi U_{rM} precum şi frecvenţele f_{us} şi f_{ur} ale tensiunilor u_s şi u_r, iar valorile înscrie-le în tabelul 6.2;
- reprezintă grafic, la aceeaşi scară, în sistemul de axe de coordonate din figura 6.51, tensiunile u_s, u_{D1}, u_r;
- completează tabelul 6.2, ţinând seama de valorile tensiunilor măsurate şi de relaţiile:

$$u_s = U_{SM}\sin\omega t = \sqrt{2}U_s\sin\omega t;\ U_0 = \frac{2U_{SM}}{\pi}$$

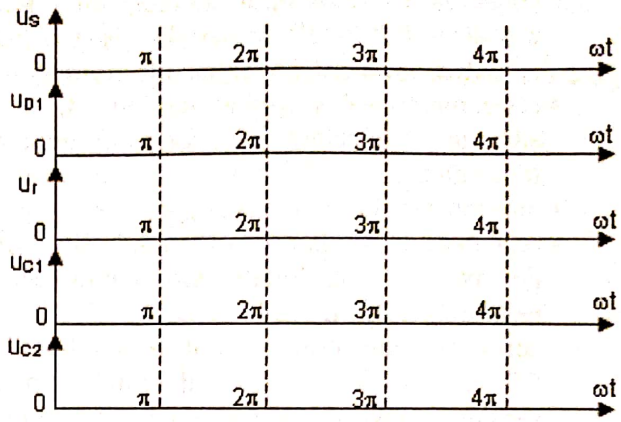


Fig. 6.51. Sistemul de axe pentru trasarea formelor de undă

- conectează între bornele 3 şi 4 un voltmetru de curent continuu, măsoară valoarea medie a tensiunii redresate U_0 şi compară această valoare măsurată cu valoarea calculată din tabelul 6.3;
- înlocuieşte diodele D_1, D_2, D_3 şi D_4 cu puntea redresoare 1 PM 05 şi repeă operaţiile de mai sus.

Tabelul 6.2

U_{SM} [V]	U_{rM} [V]	U_s [V]	U_0 [V]	f_{us} [Hz]	f_{ur} [Hz]	Relaţia dintre f_{us} şi f_{ur}	$U_{D\,inv\,max}$ pentru redresoare cu sarcină	
							R	RC

2.2. Redresorul monofazat dublă alternanţă în punte cu sarcină RC

- conectează condensatorul C_1 prin scurtcircuitarea bornelor 5 şi 6;
- conectează osciloscopul la bornele condensatorului C_1, vizualizează tensiunea u_{C1} reprezintă grafic în sistemul de axe de coordonate din figura 6.50, folosind aceeaşi scară de reprezentare folosită şi pentru tensiunea u_s;
- conectează la bornele condensatorului un voltmetru de cc şi măsoară tensiunea medie redresată U_{0C1}, stabilind o relaţie de ordine între U_0 şi U_{0C1};
- înlocuieşte condensatorul $C_1 = 10\,\mu F$ cu un condensator $C_2 = 100\,\mu F$ şi reia operaţiile de mai sus, identificând modificările care apar în forma de undă a tensiunii de ieşire.

2.3. Redresorul monofazat dublă alternanţă realizat cu transformator cu priză mediană şi sarcină rezistivă

- realiează montajul conform schemei electronice din figura 6.52;

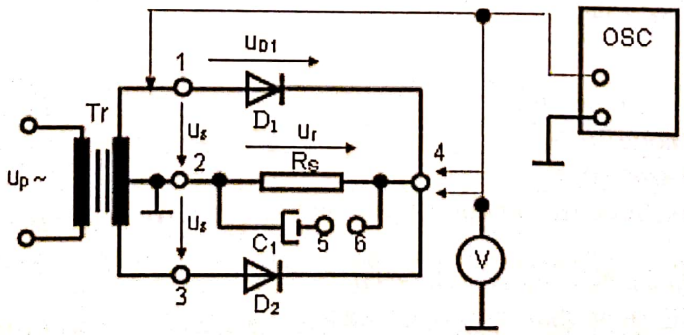


Fig. 6.52

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.3

U_{SM} [V]	U_{rM} [V]	U_{DIM} [V]

- conectează osciloscopul succesiv între bornele 1 şi 2, 2 şi 4, vizualizează formele de undă ale tensiunilor u_s, u_r, măsoară amplitudinile acestora, iar valorile înscrieţi-le în tabelul 6.3;
- conectează osciloscopul la bornele 1-4, vizualizează şi reprezintă grafic forma de undă a tensiunii u_{D1}.
- măsoară tensiunea inversă U_{DIM};
- reprezintă grafic, la aceeaşi scară, în sistemul de axe de coordonate din figura 6.53, tensiunile u_s, u_{D1}, u_r;
- compară reprezentările grafice din figurile 6.51 şi 6.53 şi identifică diferenţele dintre tensiunea inversă maximă la bornele unei diode pentru cele două tipuri de redresoare monofazate dublă alternanţă (varianta în punte şi varianta folosind transformator cu priză mediană).

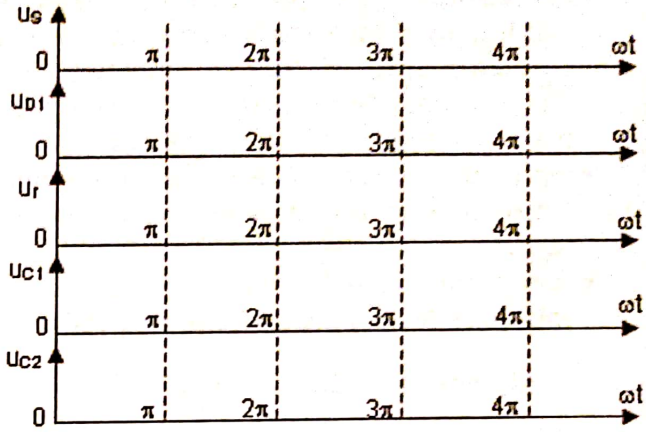


Fig. 6.53

2.4. Redresorul monofazat dublă alternanţă realizat cu transformator cu priză mediană şi sarcină RC

- în montajul anterior, montaţi condensatorul C_1 prin scurtcircuitarea bornelor 5 şi 6;
- conectează osciloscopul la bornele condensatorului C_1, vizualizează tensiunea u_{C1} şi reprezintă grafic în sistemul de axe de coordonate din figura 4.49, folosind aceeaşi scară de reprezentare folosită şi pentru tensiune u_s;
- înlocuieşte condensatorul C_1 = 10 µF cu un condensator C_2 = 100 µF şi reia operaţiile de mai sus.

Lucrare de laborator

Stabilizatoare de tensiune

▸ ***Obiective***

- Realizarea şi verificarea funcţionării circuitelor stabilizatoare realizate cu componente discrete
- Trasarea caracteristicii de transfer $U_e = f(U_i) \mid I_e = ct$
- Trasarea caracteristicii de ieşire $U_e = f(I_e) \mid U_i = ct$

▸ ***Desfăşurarea lucrării***

▸ ***Componente, aparate, elemente de conectare***

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	100 Ω
		R_2	270 Ω
	Potenţiometre	P	25 kΩ
	Diode Zener	DZ	PL5 V1
	Întreruptor	K	
Aparate	Multimetru numeric sau analogic	V, mA	
	Sursă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S	0÷24 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Scanned with OKEN Scanner

1. Stabilizatoare parametrice cu diodă Zener

Trasarea caracteristicii de transfer $U_e = f(U_i) \mid I_e = ct$

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.54;
- poziționează comutatorul K pe poziția deschis și reglează sursa de alimentare astfel încât tensiunea U_i să aibă valorile indicate în tabelul 6.4;

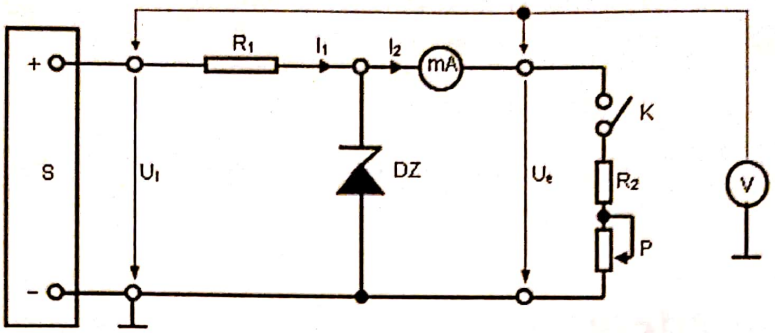


Fig. 6.54

- pentru fiecare valoare a tensiunii U_i măsoară tensiunea la ieșire U_e. Valorile măsurate înscrie-le în tabelul 6.4;

Tabelul 6.4

U_i [V]	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_e [V]											

- în sistemul de axe de coordonate din figura 6.55, trasează, prin puncte, caracteristica de transfer pentru o sarcină infinită; marchează pe caracteristică punctul de la care începe stabilizarea tensiunii;
- poziționează comutatorul K pe poziția închis și reglează sursa de alimentare astfel încât tensiunea U_1 să aibă o valoare mai mare decât tensiunea stabilizată:

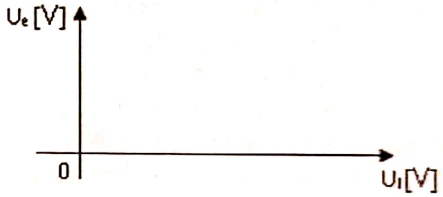


Fig. 6.55

$$U_1 = U_z + \frac{1}{2}U_z \approx 10\ V;$$

- reglează potențiometrul P astfel încât să intervină cu o rezistență minimă în circuit;
- măsoară intensitatea curentului electric prin rezistența de sarcină $(R_2 + R_p)$ și să notează această intensitate cu I_e';
- mărește tensiunea de intrare U_i din volt în volt până la 15 V și reglează potențiometrul P astfel încât pentru fiecare valoare a tensiunii U_i curentul de ieșire I_e să fie egal I_e' deci să fie constant;
- completează tabelul 6.5 și trasează caracteristica $U_e = f(U_i) \mid I_e = ct$ în același sistem de axe de coordonate din figura 6.51.

Tabelul 6.5

$I_e = I_e' = ct$	U_i [V]						
	U_e [V]						

Trasarea caracteristicii de ieșire $U_e = f(I_e) \mid U_i = ct$

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.54, punând comutatorul K pe poziția închis;
- reglează potențiometrul P astfel încât să fie introdusă rezistența maximă în circuit;
- reglează sursa de alimentare astfel încât tensiunea U_i = 12 V; măsoară tensiunea și curentul de ieșire, iar valorile acestor mărimi înscrie-le în tabelul 6.6;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 6.6

$U_i = 12$ V	I_e [mA]							
	U_e [V]							

- reglează potenţiometrul P astfel încât valoarea curentului de ieşire I_e să crească cu 2 mA, până ajunge la valoarea maximă. Pentru fiecare valoare a curentului de ieşire, măsuraţi tensiunea U_e;
- pe baza datelor rezultate din tabelul 6.7, trasează prin puncte la scară, caracteristica de ieşire în sistemul de axe de coordonate din figura 6.56;
- marchează pe grafic punctul în care tensiunea la ieşire U_e începe să scadă.

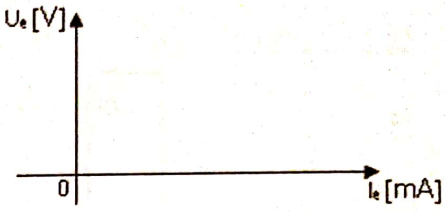


Fig. 6.56

Aprofundare

Stabilizatoare de tensiune cu circuite integrate monolitice

Stabilizatoarele de tensiune cu circuite discrete pot fi executate cu uşurinţă, dar prezintă o serie de neajunsuri legate de performanţele de stabilizare şi de gabaritul lor relativ mare. Imperativul miniaturizării aparaturii electronice, performanţele excelente furnizate de stabilizatoarele de tensiune integrate, scăderea continuă a costurilor au contribuit la orientarea celor mai mulţi dintre utilizatori spre acest gen de dispozitive.

Majoritatea stabilizatoarelor de tensiune continuă monolitice se construiesc pe baza unor scheme de reglare automată tip serie. În principiu, schema electrică nu diferă de schema stabilizatoarelor cu componente discrete. Deosebirea constă în utilizarea unor blocuri funcţionale, în care se apelează la tehnici de circuit mai complexe, pentru a atinge un nivel de performanţă mai ridicat.

Cu ajutorul unui număr relativ mic de componente externe, un astfel de stabilizator monolitic poate asigura performanţe de stabilizare mai bune de 0,1%, domenii de tensiuni de ieşire de 0–40 V şi curenţi de ieşire disponibili până la 10 A. De asemenea, un astfel de stabilizator se poate utiliza ca element de control în circuite de stabilizare cu performanţe superioare.

Studiu de caz

1. Identificarea tipurilor constructive de stabilizatoare

Identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicaţii de specialitate, Internet etc.), diferite tipuri constructive de stabilizatoare integrate.

Analizează fiecare dispozitiv.

Compară dispozitivele analizate.

Exemple:

Fig. 6.57. *Circuite integrate stabilizatoare*

2. Identificarea tipurilor constructive de surse de alimentare stabilizate

În laboratorul de electronică, în atelier sau acasă la tine, identifică diferite surse de alimentare.

Analizează sursele identificate.

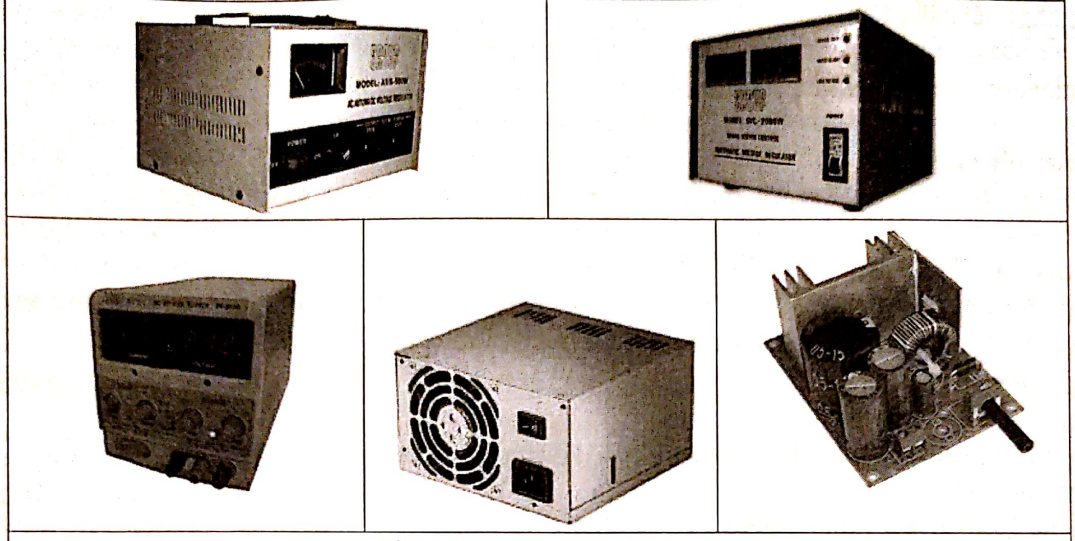
Identifică principalele caracteristici ale acestora.

Compară parametrii diferitelor surse de alimentare şi corelează-le cu utilizările acestora.

Scanned with OKEN Scanner

Exemple:

Surse stabilizate



Alimentatoare pentru laptop

Alimentatoare pentru telefon

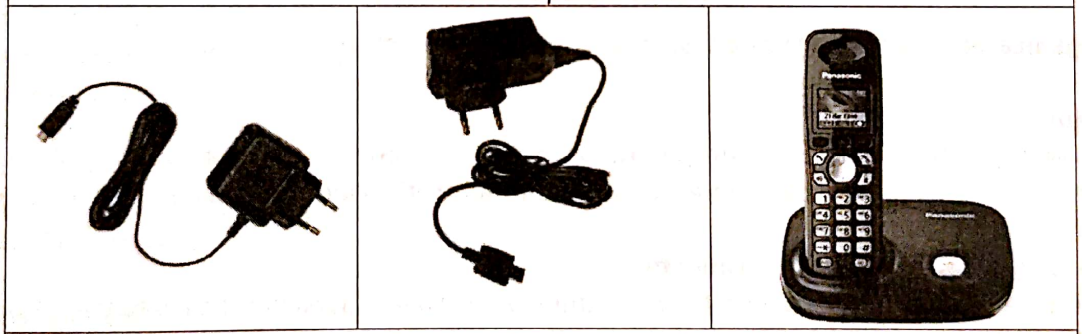


Fig. 6.58. *Tipuri constructive*

Scanned with OKEN Scanner

PROIECT

▸ **Tema:** Sursă de alimentare stabilizată

▸ **Resursele necesare:**
transformator, diode, rezistoare, condensatoare, diode stabilizatoare, tranzistoare.

▸ **Structura:**
✓ Pagina de titlu (tema, autorii/autorul, clasa, şcoala, perioada de elaborare);
✓ Cuprinsul (titlurile capitolelor, subcapitolelor, subtemelor etc.);
✓ Argumentul;
✓ Dezvoltarea elementelor de conţinut;
✓ Concluzii (elemente de referinţă desprinse din studiul temei);
✓ Bibliografia;
✓ Anexa (toate materialele importante rezultate).

▸ **Implementarea proiectului**
Implementarea proiectului presupune:
✓ proiectarea circuitului;
✓ realizarea practică a montajului;
✓ verificarea funcţionării montajului;
✓ tehnorectactarea proiectui;
✓ susţinerea proiectului.

▸ **Organizare:** Activitatea se va desfăşura pe echipe de câte 4 elevi.

▸ **Etape:**
a. Proiectaţi o sursă de alimentare pentru un receptor al cărui consum variază între 20 şi 200 mA la 9 V, alimentarea efectuându-se de la reţeaua de curent alternativ, care poate avea variaţii de tensiune de (–15 ··· + 10)% din tensiunea nominală.
b. Realizaţi montajul pe un cablaj imprimat.
c. Alimentaţi montajul şi, cu ajutorul multimetrului, verificaţi funcţionalitatea circuitului.
d. Tehnoredactaţi proiectul.

6.2. Amplificatoare

Noţiunea de amplificare, din punct de vedere fizic, reprezintă mărirea, dezvoltarea, lărgirea, intensificarea unui semnal, a unui nivel, a unei mărimi fizice etc.

În general, mărimile măsurate au în majoritatea cazurilor valori aşa de mici, încât este necesară mărirea lor proporţională, adică amplificarea lor.

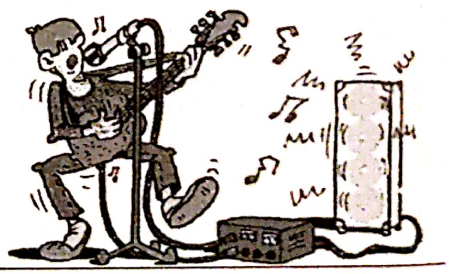


Fig. 6.59. Noţiunea de amplificare

De exemplu, tensiunea produsă de un termocuplu este de câţiva milivolţi, iar cea produsă de un traductor piezoelectric are o valoare încă mult mai mică. O asemenea valoare trebuie amplificată cu ajutorul unor elemente speciale numite ***amplificatoare***, la care mărimea de intrare de o putere (nivel) relativ mică poate comanda continuu o mărime de ieşire având o putere (nivel) mult mai mare.

Scanned with OKEN Scanner

Funcția de amplificator liniar a circuitelor constă în transformarea semnalelor de mică putere aplicat la intrare într-un semnal de ieşire, cu puterea, tensiunea sau curentul mult mai mare, având aceeaşi formă de variație în timp cu semnalul de intrare.

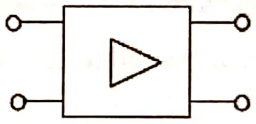
Un amplificator este un circuit electronic care furnizează la ieşire un semnal cu o putere mai mare decât semnalul aplicat la intrare.

De reținut!
Surplusul de putere pe care îl regăsim la ieşire îşi are originea în sursa de curent continuu care alimentează circuitul. Cu alte cuvinte, amplificatorul transformă puterea de curent continuu în putere de curent alternativ. De aceea, spunem că tranzistorul este un dispozitiv activ.

Observație *Este important de precizat faptul* ***că semnalul de la ieşire trebuie să aibă aceeaşi formă şi aceeaşi frecvență ca semnalul de la intrare.*** *În caz contrar, spunem că amplificatorul a distorsionat semnalul. Prin îmbunătățirea schemelor electronice se caută să se evite, pe cât posibil, distorsionarea semnalelor.*

Amplificatorul este caracterizat de mărimea numită **amplificare**, definită prin raportul dintre amplitudinea semnalului de la ieşire şi amplitudinea semnalului de la intrare.

În figura 6.60 este prezentat simbolul general al unui amplificator.



$$A = \frac{X_0(t)}{X_i(t)}$$

Fig. 6.60. *Simbolul amplificatorului*

Parametrii amplificatoarelor

Pentru a aprecia performanțele unui amplificator se definesc o serie de mărimi numite parametri. Printre principalii parametri ai unui amplificator sunt:

- amplificarea sau câştigul;
- caracteristica amplitudine-frecvență;
- distorsiunile;
- raportul semnal/zgomot;
- sensibilitatea;
- impedanța de intrare;
- impedanța de ieşire.

Amplificarea

Amplificarea este o mărime egală cu raportul dintre semnalul de la ieşirea unui amplificator şi semnalul aplicat la intrare acestuia: $A = \frac{X_0(t)}{X_i(t)}$

În funcție de natura semnalelor de la ieşire, respectiv de la intrarea unui amplificator, se poate defini:

- amplificarea în tensiune: $A_U = \frac{U_0}{U_i}$
- amplificarea în curent: $A_I = \frac{I_0}{I_i}$
- amplificarea în putere: $A_P = \frac{P_0}{P_i}$

Scanned with OKEN Scanner

De reținut!

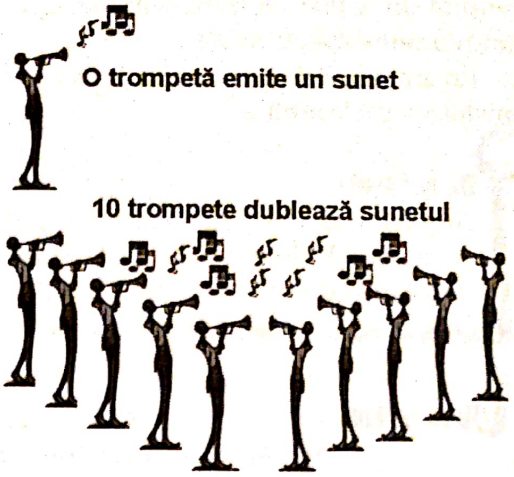
În multe situații, pentru a exprima valoarea amplificării se folosesc unități logaritmice. Unitatea de măsură bazată pe logaritmi zecimali se numește decibel (dB). Introducerea acestor mărimi a fost necesară pentru a trasa grafice într-un domeniu mare de variație a amplitudinii semnalelor, precum și într-un domeniu mare de frecvențe.

Expresiile amplificărilor, în aceste condiții, sunt:

$$A_U[dB] = 20\log\frac{U_0}{U_i};$$

$$A_I[dB] = 20\log\frac{I_0}{I_i};$$

$$A_P[dB] = 10\log\frac{P_0}{P_i}.$$



❍ *Caracteristica amplitudine-frecvență*

În cazul amplificatoarelor se definește o **frecvență-limită „sus"**, determinată de capacitățile interne ale tranzistoarelor, dincolo de care se consideră că amplificatorul nu-și mai îndeplinește funcția sa de bază.

Totodată, se definește și o **frecvență-limită „jos"**, sub care condensatoarele de cuplare și cele de decuplare nu se mai comportă ca scurtcircuite, determinând în felul acesta scăderea amplificării.

Reprezentarea grafică a dependenței amplificării de frecvență reprezintă **caracteristica amplitudine-frecvență.**

În figura 6.61 este ilustrată alura generală a acestei caracteristici, fiind marcate și frecvențele-limită, respectiv frecvențele la care modulul amplificării scade sub valoarea $\frac{A_0}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ A_0$.

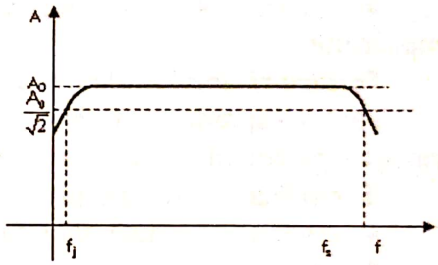


Fig. 6.61. *Caracteristica amplitudine-frecvență*

Observație *Intervalul de frecvențe în care amplificarea se menține constantă poartă numele de bandă (de frecvențe) a amplificatorului: $B = f_s - f_j$. Pentru a aprecia performanțele amplificatoarelor se definește și parametrul numit **„produs amplificare – bandă" (PAB)**, reprezentat de produsul între modulul amplificării și banda de frecvențe în care acesta se menține constant.*

Deoarece amplificarea rămâne constantă într-o plajă foarte largă de frecvențe, pentru a reprezenta aceste caracteristici, se folosesc, de obicei, unități logaritmice.

❍ *Distorsiunile*

Prin definiție, în cazul unui amplificator ideal, semnalul de la ieșire trebuie să aibă aceeași formă și aceeași frecvență, ca și semnalul de la intrare. În cazul în care nu se respectă aceste condiții se spune că amplificatorul a distorsionat semnalul.

Există mai multe cauze care conduc la distorsionarea semnalelor.

De obicei, semnalul de intrare este o undă complexă, care constă din suprapunerea mai multor unde sinusoidale, de frecvențe diferite. Pentru o reproducere fidelă a formei de undă de la intrare, toate aceste frecvențe trebuie amplificate la fel; cu alte cuvinte, banda de frecvență a amplificatorului trebuie să cuprindă toate frecvențele componente, altfel ieșirea va suferi **distorsiuni de frecvență**.

De exemplu, în cazul unui amplificator de audiofrecvență, dacă banda acestuia nu este suficient de largă, există riscul de a nu mai auzi frecvențele joase, dacă acestea sunt sub limita „jos" a benzii sau a nu mai auzi frecvențele înalte, în situația când acestea sunt peste limita „sus" a benzii de frecvență a amplificatorului.

Scanned with OKEN Scanner

O altă situaţie des întâlnită în practică este aceea când semnalul este distorsionat datorită nerespectării condiţiilor de „semnal mic" impuse pentru a putea considera funcţionarea liniară a tranzistoarelor. Se folosesc tehnici speciale de circuit pentru ca semnalul să nu fie distorsionat apreciabil chiar atunci când funcţionarea dispozitivelor electronice este puternic neliniară. Fiecare amplificator are un nivel maxim la ieşire care nu poate fi depăşit. Dacă se încearcă depăşirea lui, semnalul va suferi **distorsiuni de amplitudine**. În figura 6.62 sunt prezentate diferite situaţii de distorsionare de amplitudine a semnalelor.

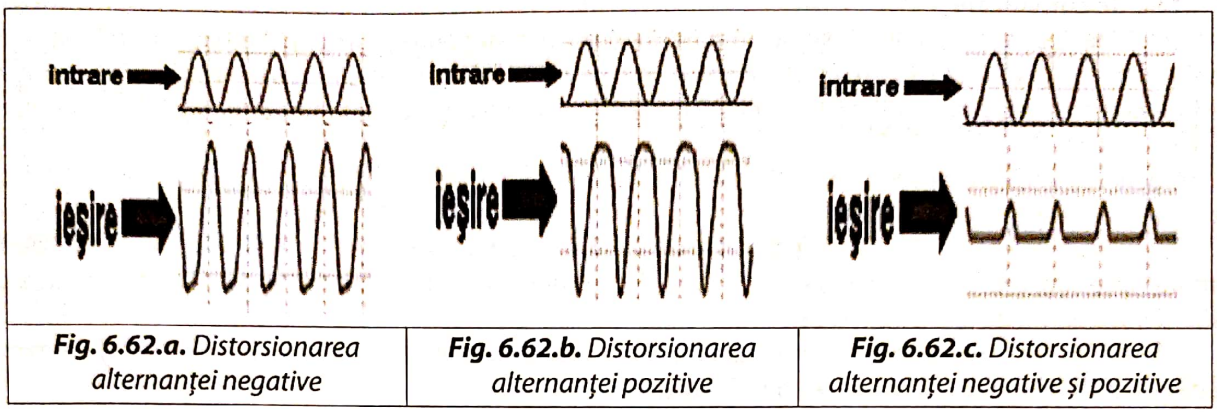


Fig. 6.62.a. *Distorsionarea alternanţei negative*	***Fig. 6.62.b.*** *Distorsionarea alternanţei pozitive*	***Fig. 6.62.c.*** *Distorsionarea alternanţei negative şi pozitive*

❍ ***Raportul semnal/zgomot***

Prin **zgomot** se înţelege un semnal electric fluctuant, cu o variaţie întâmplătoare în timp. El îşi are originea în fenomenele fizice microscopice care au loc în elementele de circuit. Astfel, fiecare element de circuit poate fi considerat un generator de zgomot.

În sens mai larg, termenul de zgomot se foloseşte pentru orice element perturbator.

Un exemplu este aşa-zisul *zgomot de reţea*, care constă, de fapt, în prezenţa componentelor alternative ale tensiunii de reţea redresate şi imperfect filtrate în sursa de alimentare a circuitului electronic.

Aceste semnale perturbatoare se suprapun peste semnalul util şi vor fi regăsite la ieşire, amplificate de către amplificator.

Valoarea zgomotului introdus de către un amplificator se poate măsura la ieşirea acestuia prin măsurarea tensiunii de ieşire cu intrarea în scurtcircuit.

Pentru ca zgomotul să nu influenţeze în mod supărător semnalul de ieşire este necesar ca semnalul să fie mult mai puternic decât zgomotul.

Pentru a aprecia performanţele amplificatorului din acest punct de vedere se calculează raportul dintre puterea totală a semnalului de ieşire şi puterea de zgomot la ieşire.

Observaţie *Dacă se conectează în cascadă mai multe amplificatoare (etaje de amplificare), atunci zgomotul cel mai important din punctul de vedere al întregului amplificator este cel al primului bloc (etaj) de amplificare. Explicaţia este evidentă, întrucât acest zgomot va fi amplificat de toate celelalte amplificatoare.*

❍ ***Sensibilitatea***

Sensibilitatea unui amplificator se defineşte ca fiind semnalul minim de intrare care asigură la ieşire un raport semnal/zgomot precizat, în condiţii de lucru nominale.

❍ ***Impedanţa de intrare***

Impedanţa de intrare a amplificatorului este o mărime egală cu raportul dintre tensiunea de intrare şi curentul de intrare.

$$Z_i = \frac{U_i}{I_i}$$

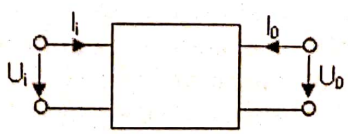


Fig. 6.63. *Amplificatorul reprezentat ca un cuadripol*

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

O *Impedanța de ieșire*

Impedanța de ieșire a amplificatorului este o mărime egală cu raportul dintre tensiunea de ieșire și curentul de ieșire.

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0}$$

Etaje de amplificare

Circuitele electronice complexe se împart în blocuri funcționale, care, în limbajul tehnic se numesc *etaje*. Proiectarea și studiul circuitelor electronice se face pentru fiecare etaj în parte, urmând ca apoi acestea să fie interconectare (cuplate) între ele. Această împărțire este foarte practică și pentru execuția, întreținerea și depanarea circuitelor.

În general, fiecare etaj are un rol bine determinat în funcționarea circuitului din care face parte. Un circuit electronic poate avea oricâte etaje. Un etaj poate conține unul sau mai multe tranzistoare.

De exemplu, un circuit poate conține un etaj de intrare, care are, printre altele rolul de a asigura impedanța de intrare necesară, mai multe etaje de amplificare și unul sau mai multe etaje finale care asigură puterea dorită la ieșire și impedanța de ieșire necesară.

În figura 4.60 este prezentat un amplificator de tensiune, format dintr-o succesiune de 3 *etaje conectate în cascadă*. Amplificarea fiecărui etaj este specificată.

Amplificarea totală a circuitului va fi: $A = \frac{U_0}{U_i}$.

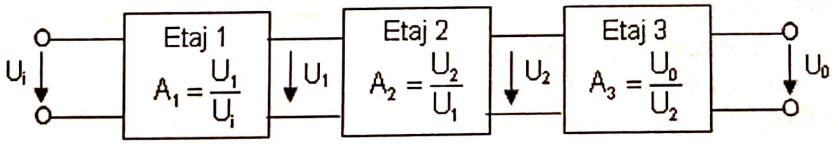


***Fig. 6.64.** Cuadripoli conectați în cascadă*

Dacă înmulțim această expresie cu $\frac{U_2}{U_2}$ și cu $\frac{U_1}{U_1}$, se obține:

$$A = \frac{U_0}{U_i} \cdot \frac{U_2}{U_2} \cdot \frac{U_1}{U_1} = \frac{U_0}{U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{U_1}{U_i} = A_3 \cdot A_2 \cdot A_1$$

Deci amplificarea circuitului este egală cu produsul amplificărilor fiecărui etaj de amplificare.

O *Cuplarea etajelor*

Etajele se interconectează fie *direct*, fie prin intermediul unui *condensator*, fie *magnetic*, prin intermediul unui *circuit acordat* sau al unui *transformator*.

◖ **Cuplajul direct** presupune legătura directă între etaje, fără alte elemente de circuit intermediare.

Acest tip de cuplaj prezintă dezavantajul interdependenței punctelor statice de funcționare a etajelor, ceea ce face și proiectarea și eventuala depanare mai dificilă. Un alt mare dezavantaj este acela că se permite trecerea zgomotului (care este de obicei de joasă frecvență) de la un etaj la altul, amplificat corespunzător.

Cuplajul direct este singurul care se poate utiliza în cazul amplificatoarelor de curent continuu.

Cuplajul direct este de asemenea utilizat în circuitele integrate, unde se evită folosirea condensatoarelor.

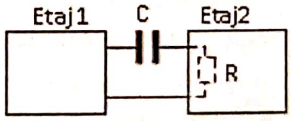


***Fig. 6.65.** Cuplarea etajelor prin intermediul unui condensator*

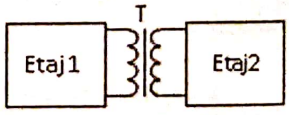


***Fig. 6.66.** Cuplarea etajelor prin intermediul transformatorului*

◖ **Cuplajul prin condensator** se mai numește și cuplaj RC, deoarece condensatorul de cuplaj formează împreună cu rezistența de intrare a etajului următor un filtru trece sus, ca în figura 6.65.

În felul acesta se împiedică trecerea componentei continue de la un etaj la următorul, realizându-se astfel o separate în curent continuu între etaje. Acest lucru este important și pentru blocarea propagării zgomotului între etaje.

Valorile tipice ale condensatoarelor de cuplaj sunt între 1 μF÷50 μF în audiofrecvență și 0,01 μF÷0,1 μF în radiofrecvență, astfel încât condensatorul să aibă, la frecvența de lucru, o reactanță mult mai mică decât rezistența de sarcină a etajului și să poată fi considerat scurcircuit.

Dezavantajul acestui tip de cuplaj constă în scăderea amplificării la frecvențe joase (vezi figura 6.61).

Cuplajul prin transformator presupune cuplarea magnetică a etajelor. Aceasta asigură izolarea în curent continuu şi permite adaptarea la rezistenţa de sarcină.

Acest tip de cuplaj se utilizează în special în etajele de putere, unde permite transferul maxim de putere.

Cuplajul prin transformator are dezavantajul dimensiunilor, greutăţii şi costului mare al transformatorului. De asemenea el reprezintă una dintre principalele surse de distorsiuni neliniare.

În circuite moderne, unde miniaturizarea a câştigat tot mai mult teren, transformatoarele de cuplaj practic au dispărut.

De reţinut!

Transferul maxim de putere apare atunci când impedanţa de ieşire a unui etaj este egală cu impedanţa de intrare a etajului următor (în cazul etajelor finale, impedanţa de ieşire a unui etaj este egală cu impedanţa de sarcină).

Clasificare

Amplificatoarele se clasifică după mai multe criterii:

- **După natura semnalului cu preponderenţă amplificat:**

– *amplificatoare de tensiune;*

– *amplificatoare de curent;*

– *amplificatoare de putere.*

- **După mărimea semnalului aplicat la intrare:**

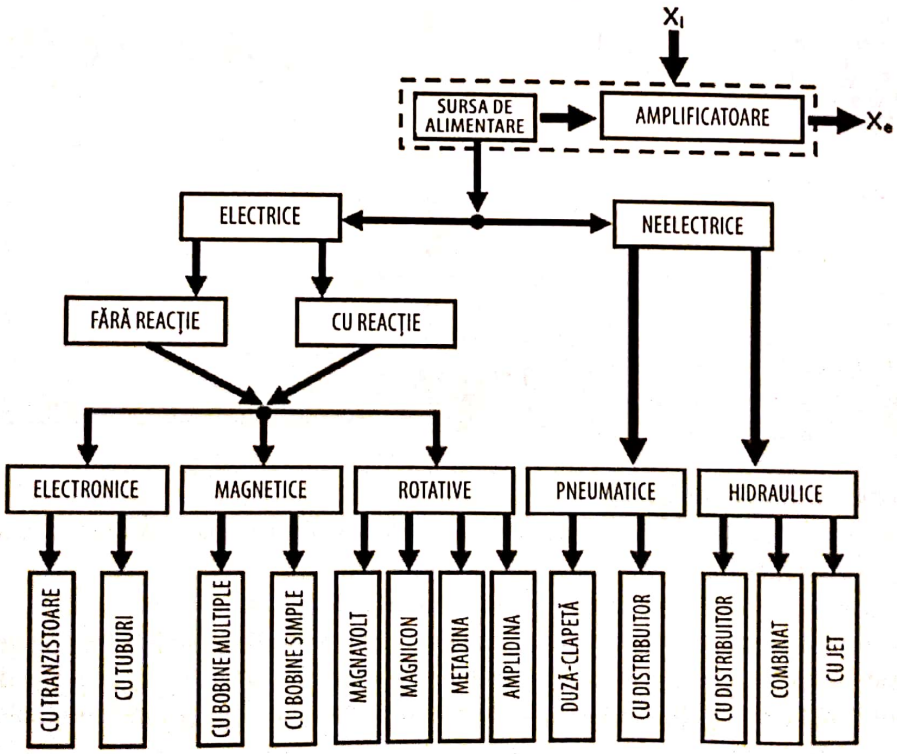
– *amplificatoare de semnal mic*, a căror funcţionare este considerată liniară;

– *amplificatoare de semnal mare*, numite şi *amplificatoare de putere*, în cadrul cărora tranzistoarele lucrează la limita de funcţionare din punctul de vedere al semnalelor electrice (putere disipată pe tranzistor, tensiune maximă). În aceste amplificatoare se folosesc tehnici speciale de circuit pentru ca semnalul să nu fie distorsionat apreciabil chiar atunci când funcţionarea dispozitivelor electronice este puternic neliniară.

- **După natura mărimii fizice furnizate de sursa de alimentare:**

– *amplificatoare de mărimi electrice (electronice, magnetice, rotative, electromagnetice etc.);*

– *amplificatoare de mărimi neelectrice (mecanice, pneumatice şi hidraulice).*



Scanned with OKEN Scanner

• **După aspectul caracteristicii de frecvenţă:**

– *amplificatoare de curent continuu*, care amplifică semnale cu frecvenţe începând de la f = 0 Hz;

– *amplificatoare de joasă frecvenţă*, numite şi *amplificatoare de audiofrecvenţă*, care au banda de frecvenţă cuprinsă între câţiva herţi şi 20 kHz;

– *amplificatoare de videofrecvenţă*, care au banda de frecvenţă cuprinsă de la câţiva herţi până la sute de megaherţi. Acest tip de amplificatoare se mai numesc şi *amplificatoare de bandă largă*. Sunt folosite în special în prelucrarea semnalelor video şi în această situaţie distorsiunile de fază prezintă importanţă.

– *amplificatoare de radiofrecvenţă*, care au o caracteristică de frecvenţă de tip rezonant, cu un maxim pronunţat şi o bandă îngustă. Ele se mai numesc şi *amplificatoare selective*.

– amplificatoare de foarte înaltă frecvenţă, care amplifică semnale cu frecvenţe de ordinul gigaherţilor. Acestea se mai numesc şi *amplificatoare de microunde*.

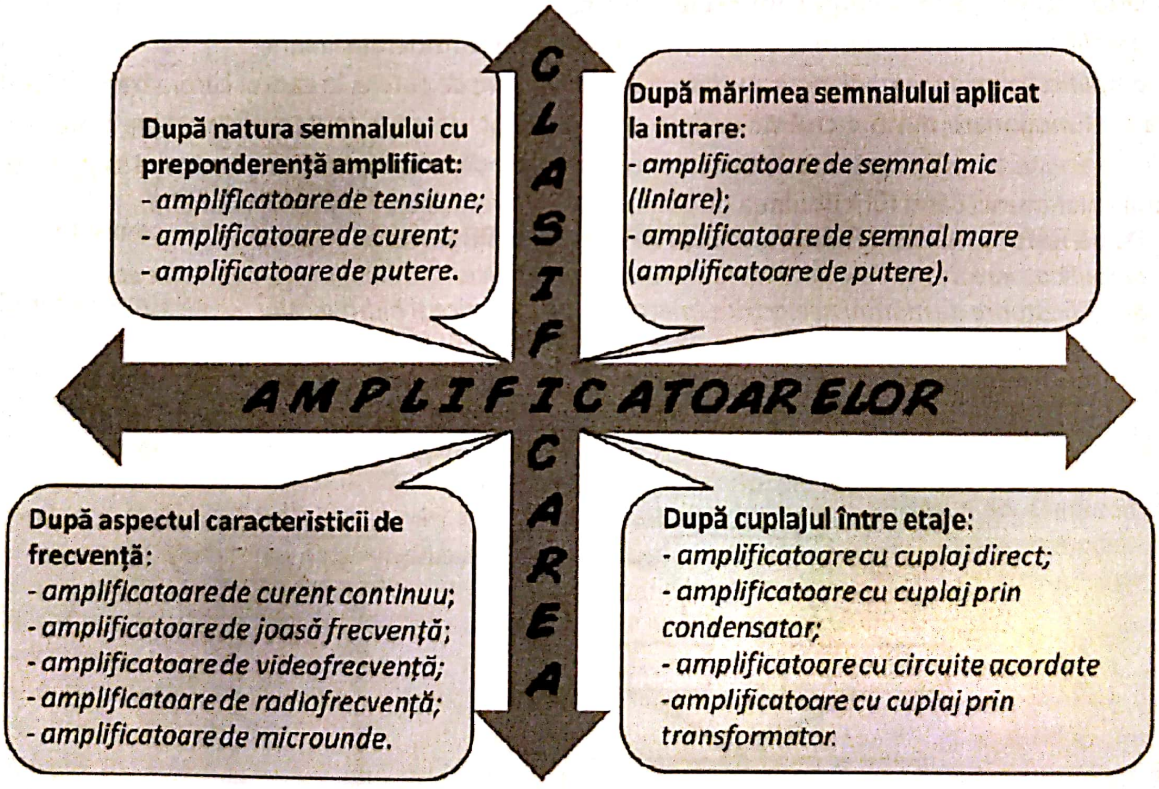
• **După cuplajul între etaje:**

– *amplificatoare cu cuplaj direct*, utilizate în amplificatoarele de curent continuu şi în circuitele integrate;

– *amplificatoare cu cuplaj prin condensator*, sunt larg utilizate datorită amplificării mari, a răspunsului bun în frecvenţă, a componentelor mai ieftine şi mai mici.

– *amplificatoare cu circuite acordate*, sunt utilizate în amplificatoarele de radiofrecvenţă, permiţând realizarea selectivităţii;

– *amplificatoare cu cuplaj prin transformator*, sunt utilizate, în special, în amplificatoarele de putere, unde permite realizarea transferului maxim de putere.



Etaj de amplificare cu un tranzistor

Prin definiţie, tranzistorul are proprietatea de amplificare. Prin urmare, amplificatoarele electronice se realizează cu ajutorul tranzistoarelor.

Cel mai simplu etaj de amplificare se realizează cu un tranzistor.

Întrucât tranzitorul are numai trei electrozi, unul va fi comun intrării şi ieşirii. În funcţie de terminalul comun ales, există trei moduri fundamentale de realizare a amplificatoarelor cu tranzistor bipolar: etaj de amplificare cu un tranzistor în conexiune emitor comun (EC), cu conexiune baza comună (BC) şi cu conexiune colector comun (CC).

Scanned with OKEN Scanner

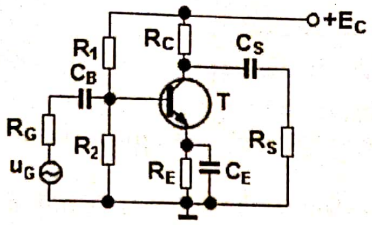


Fig. 6.67.a. *Etaj de amplificare cu un tranzistor bipolar în conexiune emitor comun*

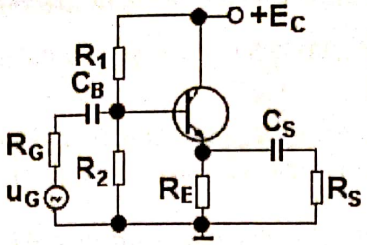


Fig. 6.67.b. *Etaj de amplificare cu un tranzistor bipolar în conexiune colector comun*

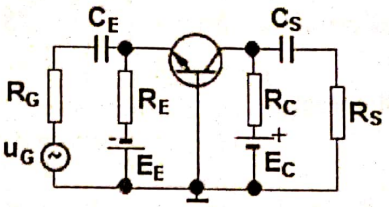


Fig. 6.67.c. *Etaj de amplificare cu un tranzistor bipolar în conexiune baza comună*

○ *Etaj de amplificare cu un tranzistor în conexiunea emitor comun*

Figura 6.68 reprezintă un etaj de amplificare cu un tranzistor bipolar în conexiune emitor comun.

Rolul elementelor de circuit:

T – Tranzistor bipolar, asigură amplificarea.

$\mathbf{R_1}$,$\mathbf{R_2}$ – divizor de tensiune, asigură polarizarea bazei.

$\mathbf{R_C}$ – rezistenţa de colector, asigură polarizarea colectorului.

$\mathbf{R_E}$ – rezistenţa de emitor, asigură stabilizarea PSF în raport cu dispersia lui β şi cu variţiile de temperatură.

$\mathbf{R_S}$ – rezistenţa de sarcină.

$+\mathbf{E_C}$ – sursa de alimentare de curent continuu

$\mathbf{u_G}$ – generator de semnal.

$\mathbf{R_G}$ – rezistenţa internă a generatorului de semnal.

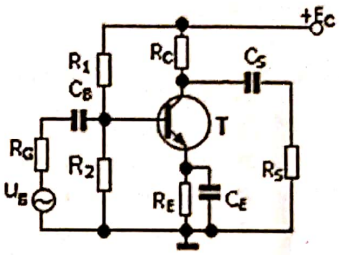


Fig. 6.68. *Amplificator cu un tranzistor în conexiunea EC*

$\mathbf{C_B}$ – condensator de cuplarej, cuplează generatorul de semnal la amplificator, asigurând separarea în curent continuu şi filtrarea zgomotelor.

$\mathbf{C_S}$ – condensator de cuplaj, cuplează amplificatorul cu sarcina, asigurând separarea în curent continuu şi filtrarea zgomotelor.

$\mathbf{C_E}$ – condensator de decuplare a rezistenţei din emitor, scurtcircuitează rezistenţa din emitor în curent alternativ, contribuie la reducerea consumului de putere de semnal şi la creşterea amplificării.

De reţinut!

Atât condensatorul de decuplare C_E, cât şi cele de blocare a tensiunii continue, C_B şi C_S (condensatoare de cuplaj), trebuie să aibă capacitatea suficient de mare pentru a putea fi considerate scurtcircuite la frecvenţa minimă din bandă.

Figura 6.69 reprezintă schema de curent alternativ a etajului de amplificare cu un tranzistor bipolar în conexiune emitor comun.

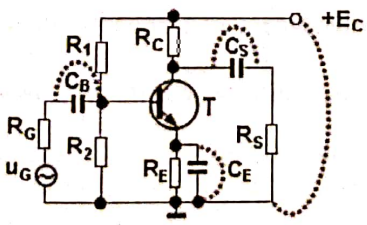


Fig. 6.69.a. *Schema electronică a amplificatorului*

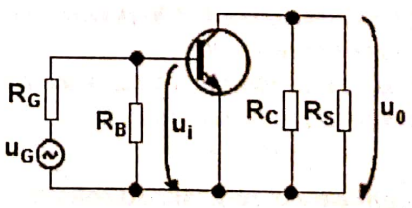


Fig. 6.69.b. *Schema de curent alternativ a amplificatorului*

Scanned with OKEN Scanner

În aceste condiții, se demonstrează că amplificarea în tensiune, definită ca raportul între tensiunea de ieșire și cea de intrare, A_U, este: $A_U = \frac{U_0}{U_i} \cong -S \cdot R_S \rangle 1$, unde S se numește „panta" tranzistorului.

Observație *La aceasta schemă s-a ajuns ținând cont de următoarele considerente:*
- *Condensatoarele din schemă se comportă ca și scurtcircuite, la frecvența de lucru (frecvența joasă).*
- *Sursa de alimentare, de tensiune continuă, având rezistența internă foarte mică, poate fi considerată ca un scurtcircuit în curent alternativ.*

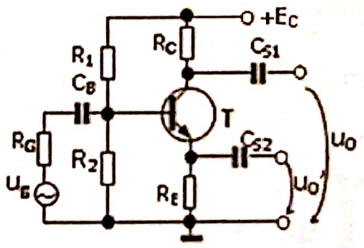
Rezistoarele R_1 și R_2 sunt puse, în paralel, la masă prin intermediul sursei de alimentare și $R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Amplificarea în curent este: $A_I = \frac{I_0}{I_i} \cong \beta \rangle 1$

Întrucât si amplificarea în curent și amplificarea în tensiune sunt supraunitare, amplificarea în putere va fi, la rândul ei, supraunitară.

De reținut!
Deci, etajul de amplificare cu un tranzistor în conexiune EC are următoarele proprietăți:
- ↗ – ***amplifică în tensiune și defazează cu 180° tensiunea de ieșire față de cea de intrare;***
- ↗ – ***amplifică în curent;***
- ↗ – *întrucât are o amplificare importantă și în tensiune și în curent, amplifică substanțial și în putere.*

Știați că ...?
În cazul în care rezistența din emitor nu este decuplată în curent alternativ de condensatorul C_E, etajul se numește „etaj cu sarcină distribuită". Amplificarea în tensiune a acestui etaj are expresia: $A_U = \frac{u_0}{u_i} \cong -\frac{R_C}{R_E}$ *și este aproape independentă de parametrii tranzistorului.*
Prețul plătit pentru acest avantaj este, însă, scăderea amplificării.
Dacă se alege $R_C = R_E$, atunci se pot culege simultan tensiunile $u_0 = -u_i$ și $u_0' = u_i$, deci de aceeași mărime și de faze opuse.
De aceea, acest tip de etaj se mai numește și ***etaj defazor sau distribuitor de fază.***



Observație *Tranzistoarele cu efect de câmp sunt foarte utilizate în schemele de amplificare moderne, datorită proprietăților specifice acestor dispozitive semiconductoare. Acestea sunt de dimensiuni mai mici, prezintă impedanță de intrare foarte mare, sunt mai puțin sensibile la temperatură decât tranzistoarele bipolare și, de aceea, mai puțin predispuse la ambalare termică. Circuitele care folosesc TEC-uri sunt mai simplu de proiectat, folosind mai puține componente. Tranzistoarele cu efect de câmp sunt simplu de fabricat și mai ușor de folosit în circuitele integrate decât tranzistoarele bipolare.*
Tranzistoarele cu efect de câmp se utilizează ca amplificatoare în montaje realizate în conexiune sursă comună sau drenă comună.

❍ *Etaj de amplificare în conexiunea colector comun*

Figura 6.71.a reprezintă un etaj de amplificare în conexiunea colector comun.

Presupunem că ambele condensatoare de cuplaj, C_B și C_S au capacitatea suficient de mare pentru a putea fi considerate scurtcircuite la frecvența minimă din bandă.

Scanned with OKEN Scanner

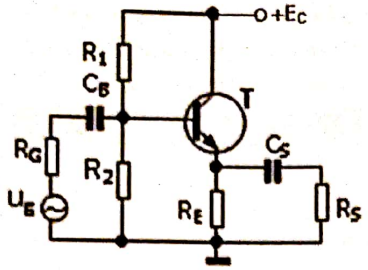


Fig. 6.71.a. *Schema electronică a amplificatorului în conexiunea CC*

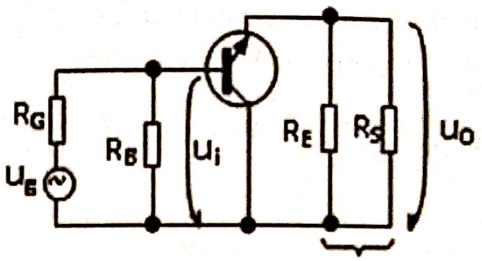


Fig. 6.71.b. *Schema de curent alternativ a amplificatorului în conexiunea CC*

Rezistențele divizorului din bază (R_1 și R_2), precum și rezistența din emitor (R_E) asigură polarizarea corectă și stabilizarea PSF.

În figura 6.71.b este prezentată schema de curent alternativ.

Acest amplificator are următoarele proprietăți:

- ↗ ***Rezistența de intrare** a etajului este de **valoare mare.***
- ↘ ***Rezistența de ieșire a etajului este** de valoare **foarte mică.***
- → ***Amplificarea în tensiune este ușor subunitară;** se spune că etajul repetă la ieșire tensiunea de la intrare, de unde și numele de **repetor pe emitor**.*
- ↗ ***Amplificarea în curent este de valoare mare.***

○ *Etaj de amplificare în conexiunea bază comună*

În figura 6.72.a este prezentat un etaj de amplificare în conexiunea bază comună.

Se observă că tranzistorul este polarizat cu două surse de alimentare.

C_E și C_S (condensatoare de cuplaj) au capacitatea suficient de mare pentru a putea fi considerate scurtcircuite la frecvența minimă din bandă.

În figura 6.72.b este prezentată schema de curent alternativ.

Acest amplificator are următoarele proprietăți:

- ↘ **Rezistența de intrare** a etajului este de **valoare mică.**
- ↗ **Rezistența de ieșire a etajului este** de valoare **foarte mare.**
- → **Amplificarea în curent este ușor subunitară;**
- ↗ **Amplificarea în tensiune este de valoare mare.**

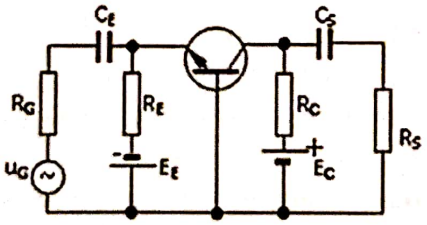


Fig. 6.72.a. *Schema electronică a amplificatorului în conexiunea BC*

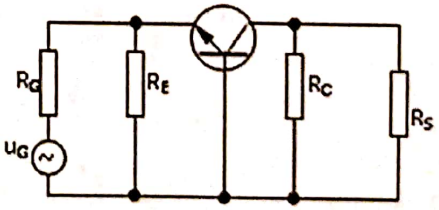


Fig. 6.72.b. *Schema de curent alternativ a amplificatorului în conexiunea BC*

Observație *Etajul bază comună are avantajul unui răspuns foarte bun la frecvențe mari; de aceea este folosit în amplificatoarele de radiofrecvență.*

Scanned with OKEN Scanner

Comparaţie între etajele de amplificare EC, CC şi BC

În tabelul 6.7 este prezentată o comparaţie între cele trei tipuri de etaje de amplificare:

Tabelul 6.7

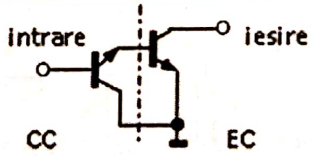
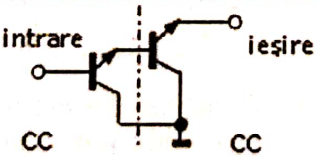
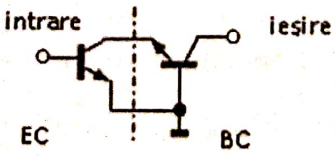
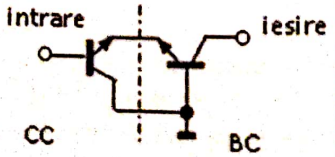
Amplificatorul	Emitor comun	Colector comun	Bază comună
amplificarea în tensiune	mare	< 1	mare
amplificarea în curent	mare	mare	< 1
impedanţa de intrare	moderată	mare	mică
impedanţa de ieşire	moderată	mică	mare
defazajul între intrare şi ieşire	180°	0	0
avantaje	amplifică în putere	impedanţă mare de intrare, amplificare mare în curent	răspuns foarte bun la frecvenţe mari
principalele utilizări	etaje amplificatoare	etaje de intrare, amplificatoare de curent	amplificatoare de înaltă frecvenţă

Amplificatoare cu 2 tranzistoare

❍ ***Etaje compuse***

În schemele de amplificatoare, inclusiv în cele integrate, se întâlnesc adesea grupuri de două tranzistoare, care formează ceea ce se numeşte un etaj compus. Specific acestor etaje este faptul că polarizarea tranzistoarelor este inseparabilă. Etajele compuse se realizează din tranzistoare în conexiuni diferite, urmărindu-se în felul acesta, avantajele care convin din fiecare conexiune. În tabelul 6.8 sunt prezentate cele mai utilizate etaje compuse şi proprietăţile acestora.

Tabelul 6.8

Etajul	Schema de curent alternativ	Proprietăţi
CC – EC		• Impedanţă de intrare mare. • Impedanţă de ieşire moderată. • Amplificare de tensiune mare. • Amplificare de curent foarte mare.
CC – CC (Darlington)		• Impedanţă de intrare mare. • Impedanţă de ieşire mică. • Amplificare de tensiune < 1. • Amplificare de curent foarte mare.
EC – BC (cascod)		• Impedanţă de intrare moderată. • Impedanţă de ieşire foarte mare. • Amplificare de tensiune foarte mare. • Amplificare de curent mare.
CC – BC (cu cuplaj pe emitor)		• Impedanţă de intrare mare. • Impedanţă de ieşire mare. • Amplificare de tensiune mare. • Amplificare de curent mare.

Scanned with OKEN Scanner

❍ Amplificator cu 2 etaje în conexiune emitor comun cu cuplaj capacitiv

Amplificatoarele cu etaje în conexiune emitor comun sunt amplificatoare care au rolul de a amplifica semnalele de intrare, cu distorsiuni în limita celor impuse, până la nivelul cerut, fără a debita, practic, putere.

În figura 6.73 este exemplificat un amplificator de tensiune cu 2 etaje de amplificare în conexiune emitor comun, cu cuplaj prin condensator.

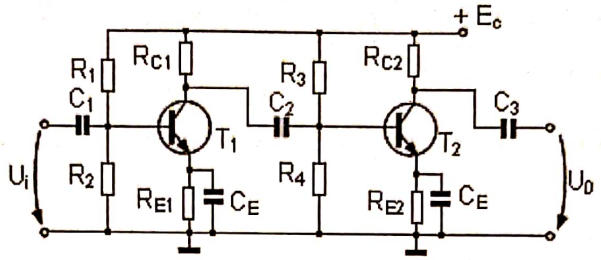


Fig. 6.73. *Amplificator cu 2 etaje în conexiune emitor comun cu cuplaj capacitiv*

Cuplajul capacitiv, prin C_2 *(Condensator de cuplaj)*, permite trecerea semnalului alternativ de la primul tranzistor la cel de-al doilea tranzistor, dar blochează trecerea componentei de c.c.

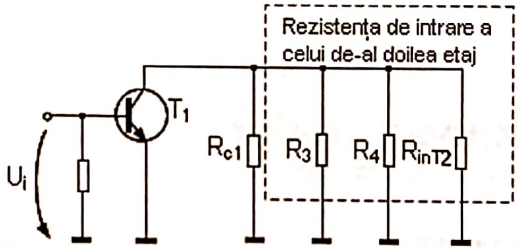


Fig. 6.74

Analizând schema de curent alternativ, din figura 6.74, se observă că sarcina primului etaj este formată din rezistența din colectorul primului tranzistor în paralel cu rezistența de intrare în cel de al doilea etaj, $R_{S1} = R_{C1} \text{ II } R_3 \text{ II } R_4 \text{ II } R_{inT2}$. Prin urmare, amplificarea primului etaj este $A_{U1} = -S_1 \cdot R_{S1}$, unde S_1 este panta tranzistorului T_1.

Amplificarea celui de al doilea etaj este $A_{U2} = -S_2 \cdot R_{C2}$, unde S_2 este panta tranzistorului T_2.

Amplificarea totală este $A_U = A_{U1} \cdot A_{U2}$, și tensiunea de ieșire este în fază cu tensiunea de intrare.

La frecvențe medii, condensatorul de cuplaj se comportă ca un scurtcircuit, dar, pe măsură ce frecvența de lucru scade, reactanța sa crește, determinand o scădere considerabilă a amplificării.

❍ Amplificator cu 2 etaje în conexiune emitor comun cu cuplaj direct

La frecvențe joase și în curent continuu se utilizează amplificatorul cu cuplaj direct.

În figura 6.75. este prezentat un amplificator elementar cu două etaje cuplate direct. Se observă că în schemă nu există condensatoare de cuplaj sau de decuplare. Tensiunea continuă din colectorul primului etaj asigură și polarizarea bazei celui de-al doilea etaj.

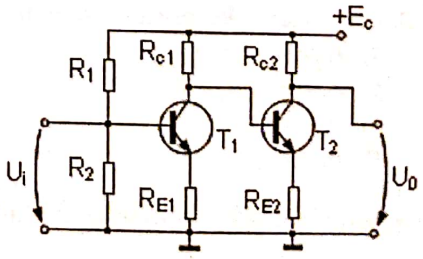


Fig. 6.75. *Amplificator cu 2 etaje în conexiune emitor comun cu cuplaj capacitiv*

Dezavantajul circuitului este faptul că orice mică variație a tensiunii de polarizare, din cauza temperaturii sau a variațiilor sursei de alimentare, este amplificată succesiv de toate etajele, ceea ce poate duce la o deplasare semnificativă a punctului static de funcționare pentru tranzistoarele din circuit, numită efect de drift.

Scanned with OKEN Scanner

Observație *Efectul de drift se poate compensa prin folosirea în schemă de termistoare sau alte componente sensibile la temperatură.*

Rezumat

1. Amplificatorul este caracterizat de mărimea numită amplificare, definită prin raportul dintre amplitudinea semnalului de la ieşire şi amplitudinea semnalului de la intrare.

2. Amplificarea este o mărime egală cu raportul dintre semnalul de la ieşirea unui amplificator şi semnalul aplicat la intrare acestuia: $A = \frac{X_0(t)}{X_i(t)}$

3. În funcţie de natura semnalelor de la ieşire, respectiv de la intrarea unui amplificator se poate defini:

– amplificarea în tensiune: $A_U = \frac{U_0}{U_i}$

– amplificarea în curent: $A_I = \frac{I_0}{I_i}$

– amplificarea în putere: $A_P = \frac{P_0}{P_i}$

Evaluarea cunoştinţelor

I. Alege varianta corectă de răspuns.

1. Semnalul obţinut la ieşirea unui amplificator electronic ideal are:
a) aceeaşi formă şi frecvenţă cu cele ale semnalului aplicat la intrare;
b) frecvenţă diferită de cea a semnalului aplicat la intrare;
c) formă diferită de cea a semnalului de intrare;
d) aceeaşi formă, dar frecvenţă diferită faţă de cea a semnalului aplicat la intrare.

2. Pentru ca un amplificator electronic să îndeplinească funcţia de amplificare, trebuie să fie prevăzut cu o sursă de alimentare:
a) de curent continuu;
b) de curent alternativ;
c) de aceeaşi natură cu semnalul aplicat la intrare;
d) cu protecţie la scurtcircuit.

3. Ampificarea în tensiune se defineşte ca fiind:
a) $A_U = U_{in} / U_{ieş}$;
b) $A_U = U_{ieş} / I_{ieş}$;
c) $A_U = U_{ieş} / U_{in}$;
d) $A_U = U_{ieş} / I_{in}$

4. Amplificarea în curent exprimată în decibeli (dB) se calculează cu relaţia:
a) $A_I(dB) = 20 \ln \frac{I_{ies}}{I_{in}}$;
b) $A_I(dB) = 20 \log \frac{I_{ies}}{I_{in}}$;
c) $A_I(dB) = 20 \log \frac{I_{in}}{I_{ies}}$;
d) $A_I(dB) = 20 \ln \frac{I_{in}}{I_{ies}}$.

Scanned with OKEN Scanner

5. Banda de frecvenţă a unui amplificator este domeniul de frecvenţe cuprinse între o frecvenţă limită inferioară f_i şi o frecvenţă limită superioară f_s. La aceste frecvenţe:
a) amplificarea scade cu 3 dB faţă de amplificarea semnalelor la frecvenţe medii;
b) amplificarea creşte cu 3 dB faţă de amplificarea semnalelor la frecvenţe medii;
c) amplificarea rămâne constantă;
d) amplificatorul intră în saturaţie.

6. Pentru tranzistorul (BC 171) din figura 6.76 tensiunea colector-emitor (U_{CE}) este:
a) mică (zecimi de volt);
b) $U_{CE} \approx V_{CC}$;
c) $U_{CE} \approx \frac{V_{CC}}{2}$
d) $U_{CE} \approx \frac{V_{CC}}{4}$

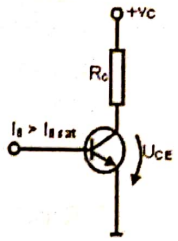


Fig. 6.76

7. Punctul static de funcţionare la amplificatorul cu un tranzistor în conexiunea EC se alege:
a) în apropierea zonei de saturaţie;
b) în apropierea zonei de blocare;
c) la jumătatea dreptei de sarcină;
d) în originea axelor de coordonate.

8. Etajul de amplificare în conexiune colector comun amplifică:
a) în curent şi are impedanţa de intrare foarte mare;
b) în tensiune şi are impedanţa de ieşire foarte mare;
c) în curent şi are impedanţa de intrare foarte mică;
d) în putere şi are impedanţa de intrare foarte mare.

9. Generatorul de semnal se poate conecta la intrarea amplificatorului:
a) printr-un circuit serie RLC;
b) printr-o bobină;
c) printr-un condensator;
d) printr-o diodă.

10. Răspunsul la frecvenţe mari al unui amplificator este limitat de:
a) condensatoarele de cuplaj;
b) conexiunea tranzistorului;
c) impedanţa de ieşire a amplificatorului;
d) impedanţa de sarcină.

11. Etajul de amplificare în conexiune emitor comun are printre proprietăţi:
a) amplifică în curent şi are impedanţa de intrare foarte mare;
b) amplifică în tensiune şi are impedanţa de ieşire foarte mare;
c) amplifică în putere şi are impedanţa de intrare moderată;
d) amplifică în curent şi are impedanţa de intrare foarte mică;
e) amplifică în putere şi are impedanţa de intrare foarte mare.

12. Răspunsul la frecvenţe joase al unui amplificator este mult îmbunătăţit dacă se realizează cupajul prin:
a) condensator;
b) transformator;
c) bobină de şoc şi condensator;
d) conectare directă.

Scanned with OKEN Scanner

13. Puterea maximă a unui tranzistor poate fi depăşită:
a) dacă sursa de alimentare are valoare scăzută;
b) dacă se folosesc radiatoare;
c) pentru perioade scurte de timp;
d) dacă este folosit un montaj în contratimp.

14. Amplificarea totală a unui amplificator cu mai multe etaje de amplificare este egală cu:
a) suma amplificărilor fiecărui etaj;
b) produsul amplificărilor etajelor componente;
c) produsul amplificării primului şi a ultimului etaj;
d) egală cu amplificarea ultimului etaj.

15. Raportul dintre mărimea electrică de la ieşirea amplificatorului şi mărimea corespunzătoare de la intrare se numeşte:
a) sensibilitate;
b) raport semnal/zgomot;
c) amplificare;
d) impedanţă de ieşire.

II. 1. Completează tabelul 6.9 ştiind că U_i, U_0 reprezintă tensiunea la intrarea, respectiv la ieşirea unui amplificator de tensiune, iar A amplificarea este exprimată în decibeli.

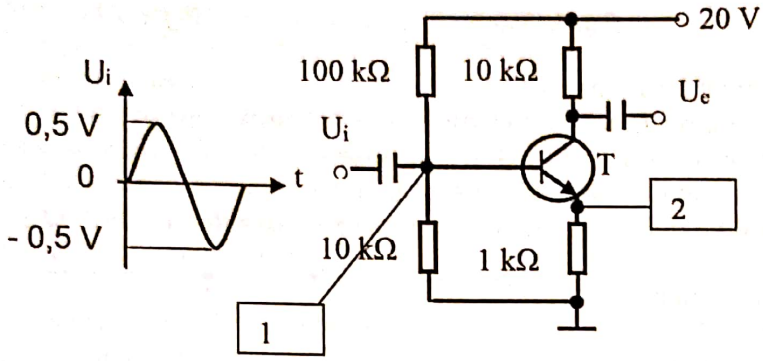
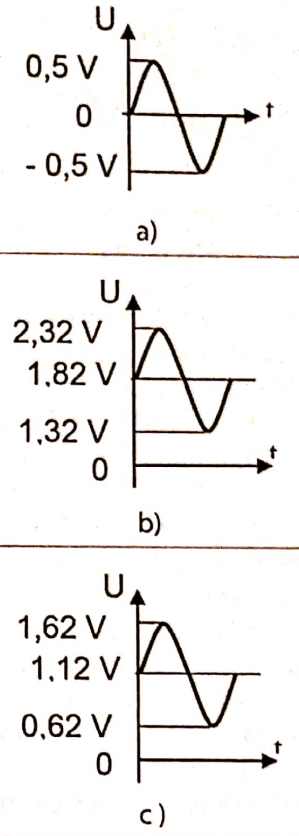
Tabelul 6.9

U_i[mV]	U_0[V]	U_i / U_0	A[dB]
2	0,2	100	40 (model de rezolvare)
0,005		10000	
100	0,1		
50	0,5		
	1		60
0,1			40
10	0,1		

2. Compleează spaţiile libere pentru a obţine o formulare corectă:
a) Amplificarea este o mărime egală cu raportul dintre semnalul de la ... (1) ... unui amplificator şi semnalul aplicat la ... (2) ... acestuia.
b) Amplificarea în putrere este posibilă pe seama ... (3) ... .
c) Transferul maxim de putere apare atunci când impedanţa de ieşire a unui etaj este egală cu impedanţa de ... (4) ... a etajului următor.
d) Intervalul de frecvenţe în care amplificarea se menţine constantă poartă numele de ... (5) ... a amplificatorului.

3. În coloana **A** a tabelului următor este reprezentată schema electronică a unui amplificator de tensiune realizat cu un tranzistor având tensiunea $U_{BE} = 0,7$ V, la intrarea căruia se aplică un semnal sinusoidal cu valoarea vârf la vârf 1 V, iar în coloana **B**, reprezentarea grafică a semnalelor în punctele 1 şi 2. Stabileşte asocierile dintre cifrele corespunzătoare punctelor de pe schema electronică din coloana **A** şi literele corespunzătoare reprezentărilor grafice din coloana **B.**

Scanned with OKEN Scanner

A Amplificator de tensiune	B Forme de undă
	

III. Rezolvă următoarele probleme.

1. Se consideră circuitul din figura 6.77.
a) Stabilește rolul rezistorului R.
b) Specifică valoarea optimă a lui R.
c) Care este principalul dezavantaj al acestui circuit?
d) Propune o soluție de îmbunătățire a acestui circuit.

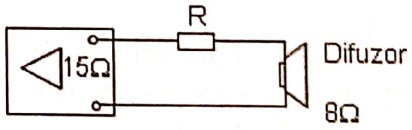


Fig. 6.77

2. Un amplificator realizat din două etaje de amplificare conectate în cascadă amplifică cu 70 dB. Amplificarea primului etaj este de 50 dB. Calculează amplificarea celui de-al doilea etaj.

3. Pentru amplificatorul din figura 6.78, se consideră că se obține un cuplaj satisfăcător atunci când $X_{Cs} = 20\ R_s$.
Determină valoarea condensatorului C_s în următoarele situații:
a) f = 300 Hz și R_s = 1 kΩ;
b) f = 300 Hz și R_s = 100 kΩ;
c) f = 300 kHz și R_s = 1 kΩ;

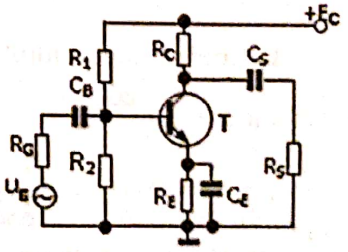


Fig. 6.78

4. În figura 6.79.b este reprezentată schema electronică a unui amplificator de tensiune realizat cu un tranzistor având tensiunea U_{BE} = 0,7 V, la intrarea căruia se aplică un semnal sinusoidal cu valoarea vârf la vârf de 1 V (fig. 6.75.a). Reprezintă grafic în sistemul de axe de coordonate din figura 6.79.c, tensiunea la ieșirea amplificatorului U_2 indicând valoarea maximă, respectiv minimă a acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

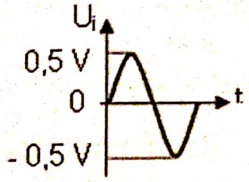


Fig. 6.79.a

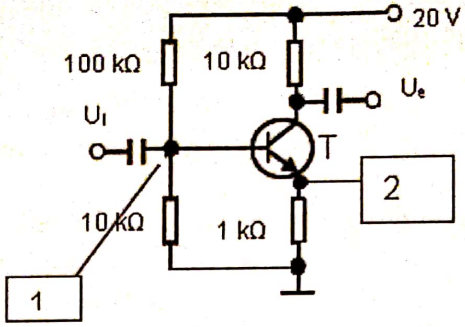


Fig. 6.79.b

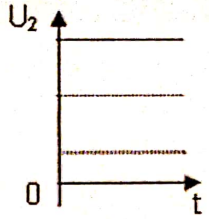


Fig. 6.79.c

5. Tensiunea de la intrarea unui amplificator este de 1,5 V.

a) Calculează amplificarea acestui amplificator, dacă tensiunea de la ieşirea sa este de 30 V.

b) Amplificatorul de mai sus se conectează în cascadă cu un al doilea amplificator, a cărui amplificare este 10. Calculează amplificarea totală a amplificatorului astfel obţinut.

c) Determină tensiunea care se obţine la ieşire, dacă la intrare se aplică o tensiune $U_i = 0{,}5$ V.

6. Se consideră amplificatorul cu un tranzistor în conexiune emitor comun din figura 6.80.

Precizează deranjamentele care apar şi care pot fi evidenţiate prin efectuare de măsurări la ieşirea amplificatorului în următoarele cazuri:

a) R_4 este întreruptă.

b) Joncţiunea bază emitor a tranzistorului este întreruptă.

c) Condensatoarele de cuplaj sunt întrerupte.

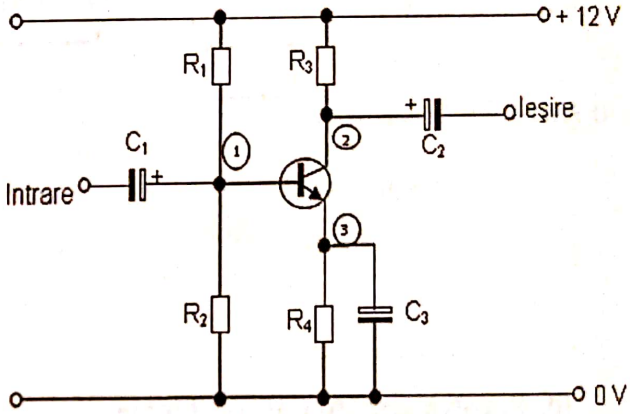


Fig. 6.80

7. Se consideră schema electrică din figura 6.81.

În punctul static de funcţionare tranzistorul BC 107A are următorii parametri:

$\beta = 170$, $U_{BE} = 0{,}6$ V.

a) Determină valorile rezistenţelor R_{B1}, R_{B2} şi R_C astfel încât tranzistorul BC107A să lucreze în punctul static de funcţionare $U_{CE} = 5$ V, $I_C = 2$ mA, atunci când divizorul de tensiune din bază este parcurs de un curent $I = 10\, I_B$, iar $R_E = 2$ kΩ.

b) Cu acest montaj, realizează, pe fişa de evaluare, un amplificator de tensiune cu tranzistorul în conexiunea EC şi argumentează modificările făcute.

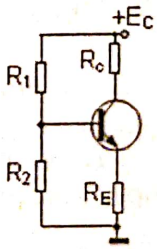


Fig. 6.81

8. Pentru amplificatorul din figura 6.82 se consideră că se obţine un cuplaj satisfăcător atunci când $X_{Cs} = \frac{20}{\pi} R_s$.

a) Precizează conexiunea tranzistorului bipolar.

b) Precizează rolul condensatorului notat pe schemă cu C_E.

c) Explică funcţionarea condensatoarelor din schemă la frecvenţa de lucru.

d) Determină valoarea condensatorului C_s pentru a se realiza un cuplaj satisfăcător, în situaţia în care frecvenţa de lucru este f = 500 Hz, iar rezistenţa $R_s = 1$ kΩ.

e) Reprezintă, pe fişa de evaluare, schema de curent alternativ a etajului de amplificare din figură.

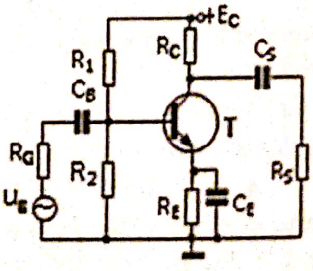


Fig. 6.82

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare de laborator

1. Amplificatoare de semnal mic

Obiective

- Identificarea tipurilor de amplificatoare într-o schemă electronică
- Realizarea amplificatoarelor pornind de la scheme electronice cunoscute
- Determinarea punctelor statice de funcționare ale tranzistoarelor prin măsurare
- Verificarea influenței elementelor de circuit asupra poziției punctului static de funcționare și a amplificării
- Măsurarea amplificării în tensiune și în curent
- Determinarea benzii de frecvență a amplificatoarelor

Desfășurarea lucrării

1. Amplificatoare cu un tranzistor în conexiunea EC

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.83;
- poziționează comutatoarele K_1 și K_2 pe poziția deschis;
- reglează sursa S astfel încât tensiunea U să aibă valoarea de 15 V;
- reglează potențiometrele P_1, P_2, P_3, P_4 astfel încât rezistența introdusă în circuit de fiecare potențiometru să fie zero;
- măsoară parametrii care caracterizează poziția punctului static de funcționare (I_B, I_C, U_{CE}), iar valorile înscrise în tabelul 6.11;
- reglează, succesiv, fiecare potențiometru P_1, P_2, P_3, P_4 astfel încât rezistența introdusă în circuit să aibă valorile indicate în tabelul 6.10; măsoară parametrii IB, IC, UCE pentru fiecare caz și completează valorile în tabelul 6.10;
- analizează valorile din tabelul 6.11 și stabilește influența fiecărui potențiometru asupra poziției punctului static de funcționare;
- reglează potențiometrele P_1, P_2, P_3, P_4 astfel încât punctul static de funcționare să fie poziționat în mijlocul dreptei de sarcină;
- conectează osciloscopul în circuit conform schemei electronice, vizualizează și măsoară semnalele U_g, U_i, Ue, apoi calculați amplificarea în tensiune $A_u = \frac{U_e}{U_i}$;
- reglează generatorul de semnale sinusoidale (G.S.S.) astfel încât să se furnizeze semnale cu frecvența 1 kHz și amplitudinea 20 mV;
- închide comutatorul K_2, calculează amplificarea și determină influența condensatorului C3 asupra amplificării amplificatorului;

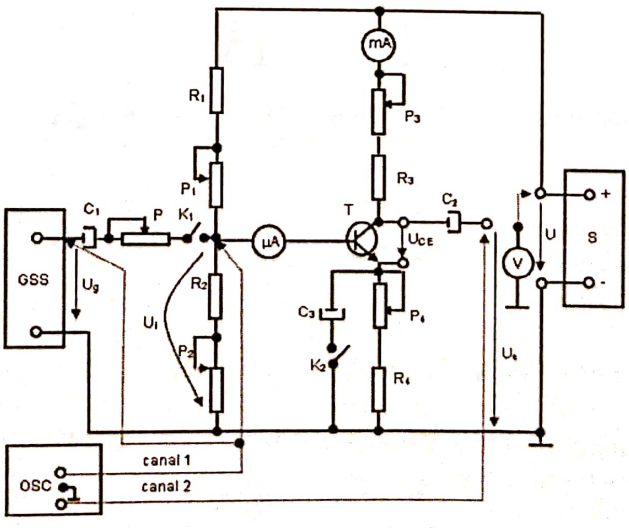


Fig. 6.83. *Amplificatoare în conexiune EC*

Scanned with OKEN Scanner

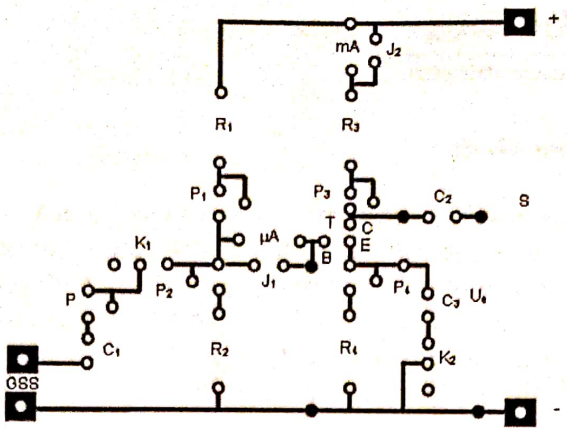


Fig. 6.84. *Schema de cablaj a amplificatorului în conexiune EC*

- modifică frecvența G.S.S. între 40 Hz și 2 MHz și determină banda de frecvență a amplificatorului ($B = f_s - f_i$);
- suprapune pe ecranul osciloscopului semnale de intrare U_i și ieșire U_e și determină defazajul dintre cele două mărimi pentru o frecvență $f_i < f < f_s$ și o amplitudine corespunzătoare regimului activ normal al tranzistorului.

Tabelul 6.10

		$R_{p1}=0$ $R_{p2}=0$ $R_{p3}=0$ $R_{p4}=0$	$R_{p2}=0$ $R_{p3}=0$ $R_{p4}=0$			$R_{p1}=0$ $R_{p3}=0$ $R_{p4}=0$			$R_{p1}=0$ $R_{p2}=0$ $R_{p4}=0$			$R_{p1}=0$ $R_{p2}=0$ $R_{p3}=0$		
			R_{p1}			R_{p2}			R_{p3}			R_{p4}		
			25kΩ	50kΩ	100kΩ	5kΩ	15kΩ	25kΩ	1kΩ	3kΩ	5kΩ	1kΩ	3kΩ	5kΩ
U_{CE} [15V]	I_B [μA]													
	I_C [μA]													
	U_{CE} [V]													

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	47 kΩ
		R_2	10 kΩ
		R_3	3,9 kΩ
		R_4	1 kΩ
	Potențiometre	P	10 kΩ
		P_1	100 kΩ
		P_2	25 kΩ
		P_3, P_4	5 kΩ
	Condensatoare	C_1, C_2, C_3	10 μF/25 V
	Tranzistoare	T	BC 171
	Comutatoare	K_1, K_2	
Aparate	Osciloscop	OSC	
	Multimetru digital sau analogic	V	
	Generator de semnale sinusoidale	GSS	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată și reglabilă	S	15 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

Scanned with OKEN Scanner

2. Amplificatoare cu un tranzistor în conexiunea CC

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.85;
- reglează generatorul de semnale sinusoidale (G.S.S.) astfel încât să furnizeze un semnal sinusoidal cu amplitudinea 0,2 V şi frecvenţa 1,5 kHz;
- reglează sursa de alimentare S astfel încât valoarea tensiunii U să fie 15 V;
- conectează osciloscopul în circuit, conform schemei electronice;
- reglează potenţiometrul P_1 astfel încât intensitatea curentului I_B să aibă valorile indicate în tabelul 6.11;

Tabelul 6.11

I_B [μA]	0,5	0,7	1	1,5	2,6	12,4
I_C [mA]						
A_i						

- pentru fiecare valoare a intensităţii curentului I_B măsoară curentul I_C şi calculează amplificarea în curent; completează tabelul 6.10;

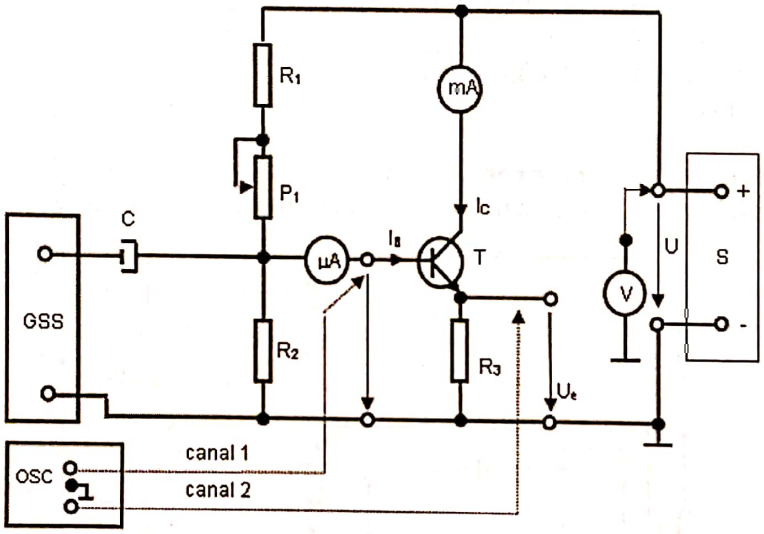


Fig. 6.85. *Amplificator în conexiune CC*

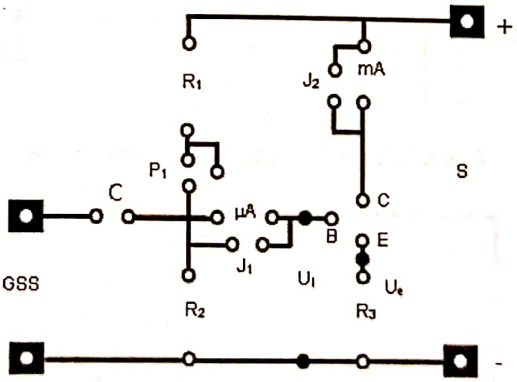


Fig. 6.86. *Schema de cablaj a amplificatorului în conexiune CC*

- aplică la intrarea amplificatorului semnale sinusoidale cu frecvenţa f = 1,5 kHz şi amplitudinea de 50 mV, respectiv 100 mV;
- folosind osciloscopul, vizualizează semnalele U_i şi U_e determinând defazajul dintre cele două mărimi;
- măsoară tensiunile U_i şi U_e, calculează amplificarea în tensiune $A_U = \frac{U_e}{U_i}$ şi compară cu amplificarea amplificatorului în conexiune EC.

Scanned with OKEN Scanner

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	27 kΩ
		R_2	15 kΩ
		R_3	1 kΩ
	Potenţiometre	P_1	50 kΩ
	Condensatoare	C	10 µF/25 V
	Tranzistoare	T	BC 171
Aparate	Osciloscop	OSC	
	Multimetru digital sau analogic	V	
	Generator de semnale sinusoidale	GSS	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S	15 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

3. Amplificatoare cu un tranzistor în conexiunea BC

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.87;

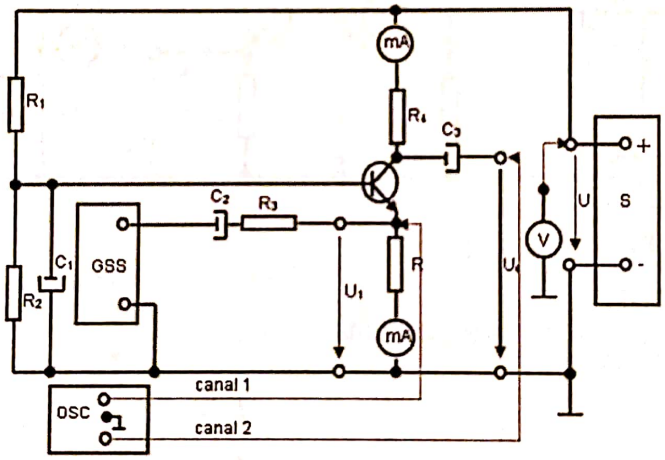


Fig. 6.87. *Amplificatoare în conexiune BC*

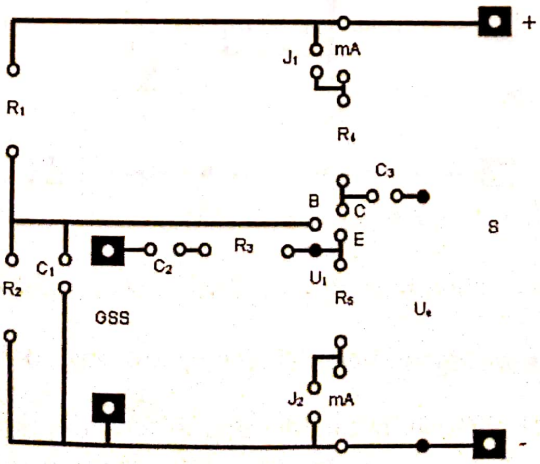


Fig. 6.88. *Schema de cablaj a amplificatorului în conexiunea BC*

Scanned with OKEN Scanner

- reglează sursa de alimentare S astfel încât valoarea tensiunii U să fie de 15 V;
- reglează generatorul de semnale sinusoidale (G.S.S.) astfel încât să furnizeze semnale cu frecvenţa f = 1,5 kHz şi amplitudinea A = 20 mV, 40 mV, 60 mV, 80 mV, 100 mV;
- conectează osciloscopul în circuit conform schemei electronice, vizualizează şi măsoară tensiunile U_i şi U_e, iar valorile acestora înscrie-le în tabelul 6.12;
- măsoară intensităţile curenţilor I_e şi I_C pentru fiecare semnal aplicat la intrare;
- calculează amplificarea în tensiune A_U şi amplificarea în curent A_I; compară cu amplificările realizate de amplificatoarele cu un tranzistor în conexiunile EC, respectiv CC;
- stabileşte amplitudinea semnalului de intrare la valoarea de 50 mV şi modifică frecvenţa în domeniul 100 Hz÷2 MHz, determinând banda de frecvenţă a amplificatorului;

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	64 kΩ
		R_2	15 kΩ
		R_3	10 kΩ
		R_4	5,6 kΩ
		R_5	1 kΩ
	Condensatoare	C_1, C_2, C_3	10 µF/25 V
	Tranzistoare	T	BC 171
Aparate	Osciloscop	OSC	
	Multimetru digital sau analogic	V	
	Generator de semnale sinusoidale	GSS	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S	15 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

- aplică la intrarea amplificatorului un semnal sinusoidal cu frecvenţa de 1,5 kHz; determină valoarea maximă a semnalului pentru care amplificatorul intră în saturaţie.

Tabelul 6.12

f = 1,5 kHz	U_i [mV]	20	40	60	80	100	120
	U_e [V]						
	I_e [mA]						
	I_C [mA]						
	A_U						
	A_I						

4. Amplificatoare cu două etaje de amplificare cuplate prin condensator

- realizează montajul corespunzător schemei electronice din figura 6.89;
- reglează sursa S astfel încât valoarea tensiunii de alimentare să fie U = 15 V;
- aplică la intrarea amplificatorului un semnal sinusoidal U_i cu frecvenţa de 1,5 kHz şi amplitudinea 0,1 mV, respectiv 1 mV;
- conectează osciloscopul în circuit, vizualizează şi măsoară tensiunile U_i, U_2 şi U_e;

Scanned with OKEN Scanner

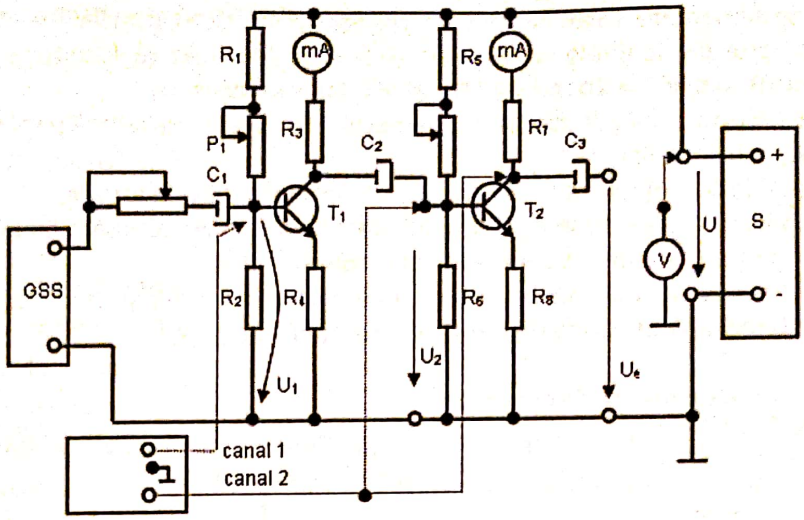


Fig. 6.89. *Amplificator cu două etaje de amplificare cuplate prin condensator*

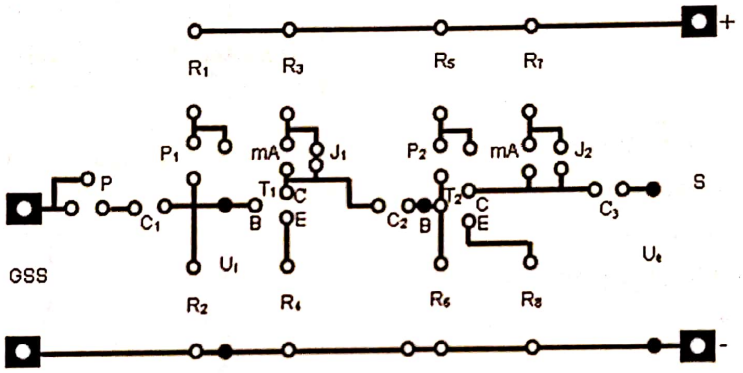


Fig. 6.90. *Schema de cablaj a amplificatorului cu două etaje de amplificare cuplate prin condensator*

- calculează amplificarea fiecărui etaj de amplificare şi amplificarea totală, verificând relaţia:

$\mathbf{A_T = A_1 \, A_2}$, unde $A_1 = \frac{U_2}{U_i}$ şi $A_2 = \frac{U_e}{U_2}$; completează tabelul 6.13

Tabelul 6.13

U_i [mV]						
U_2 [mV]						
U_e [mV]						
$A_1 = \frac{U_2}{U_i}$						
$A_2 = \frac{U_e}{U_2}$						
$A_t = \frac{U_e}{U_i}$						

Scanned with OKEN Scanner

Componente, aparate, elemente de conectare

Mijloace utilizate	Denumire	Notarea în circuit	Valoare/caracteristici/tip
Componente	Rezistoare	R_1	47 kΩ
		R_2	15 kΩ
		R_3	5,6 kΩ
		R_4	10 kΩ
		R_4	1 kΩ
		R_5	47 kΩ
		R_6	15 kΩ
		R_7	5,6 kΩ
		R_8	1 kΩ
	Condensatoare	C_1, C_2, C_3	10 μF/25 V
	Tranzistoare	T_1, T_2	BC 171
Aparate	Osciloscop	OSC	
	Multimetru digital sau analogic	V	
	Generator de semnale sinusoidale	GSS	
	Sursă dublă de curent continuu cu tensiune stabilizată şi reglabilă	S	15 V
Elemente de conectare	Platformă de lucru		
	Conductoare de legătură sau conectori		

- determină defazajul dintre tensiunile U_i şi U_2, respectiv U_i şi U_e;
- creşte, progresiv, semnalul aplicat la intrare, determină valoarea maximă a acestuia pentru care amplificatorul intră în saturaţie;
- verifică relaţia $A_T = A_1 \times A_2$.

Simulare cu ajutorul calculatorului

Amplificatorul de semnal mic, realizat cu un tranzistor bipolar în conexiune emitor comun

Obiective

- studiul amplificatorul de semnal mic, realizat cu un tranzistor bipolar, cu ajutorul programului de simulare MULTISIM

Resurse: Calculator, program de simulare **Multisim**

Desfăşurarea lucrării

- realizează, cu ajutorul calculatorului şi al programului de simulare, circuitul din figura 6.91.

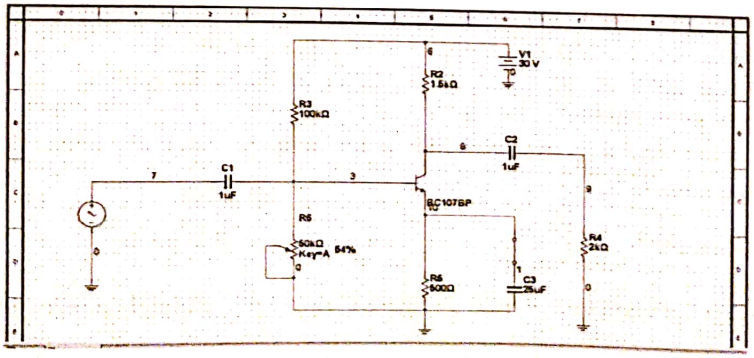


Fig. 6.91. *Schema amplificatorului*

Scanned with OKEN Scanner

• în planul caracteristicilor de ieşire din figura 6.92, construieşte dreapa de sarcină şi stabileşte punctul static de funcţionare la jumătatea acesteia;

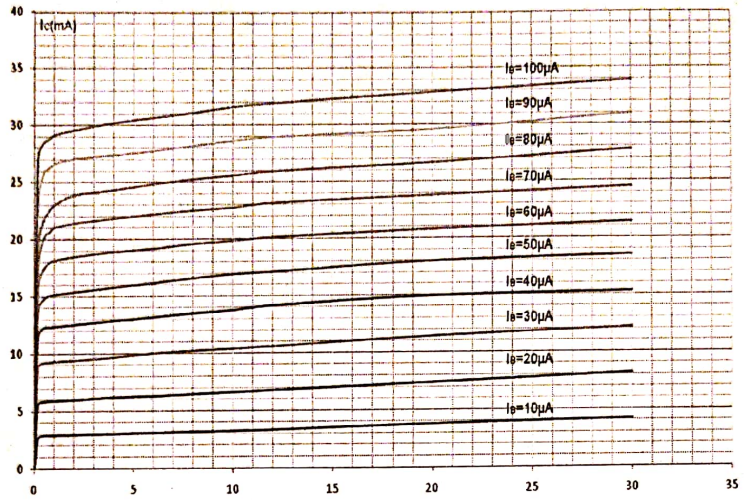


Fig. 6.92. *Caracteristicile de ieşire ale tranzistorului*

• cu ajutorul potenţiometrului R_6, stabileşte punctul static de funcţionare la valoarea determinată cu ajutorul metodei grafice;

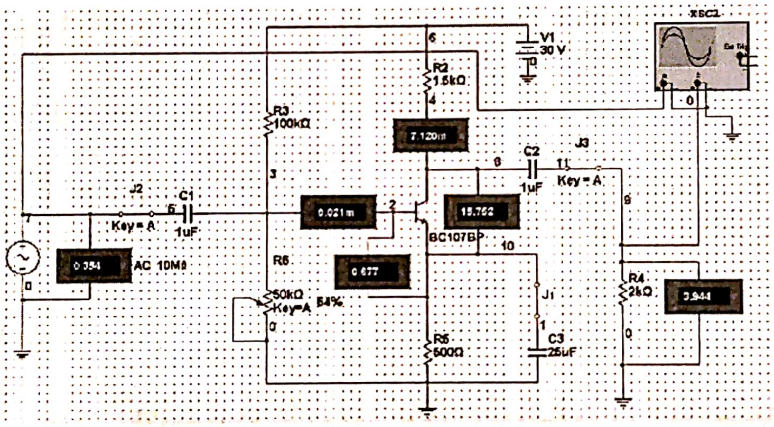


Fig. 6.93. *Stabilirea PSF la jumătatea dreptei de sarcină*

• conectează osciloscopul: o sondă la intrare şi o sondă la ieşire;

• determină amplificarea: $A_u = \frac{U_e}{U_i}$.

• cu ajutorul potenţiometrului R_6, modifică, treptat, PSF în partea inferioară a dreptei de sarcină;
• analizează, pe ecranul osciloscopului, comportarea amplificatorului;
• cu ajutorul potenţiometrului R_6, modifică, treptat, PSF în partea superioară a dreptei de sarcină;
• analizează pe ecranul osciloscopului, comportarea amplificatorului;
• schimbă înclinarea dreptei de sarcină, modificând valoarea rezistorului R_c;
• analizează comportarea amplificatorului;
• cu ajutorul potenţiometrului R_6, modifică PSF astfel încât semnalul să nu fie deformat;
• deschide întrerupătorul J_1;

• determină amplificarea: $A_{U1} = \frac{U_e}{U_i}$;

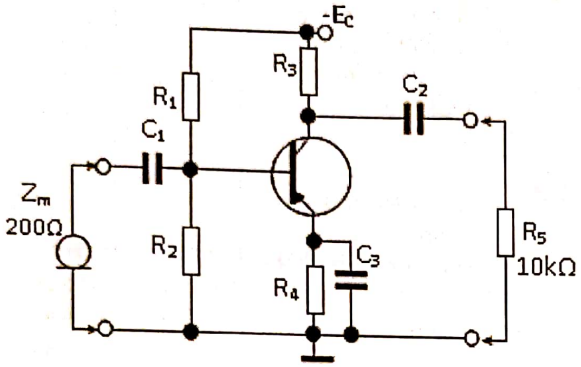
• analizează influenţa condensatorului de decuplare, montat în paralel cu rezistenţa de emitor.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrare practică

Polarizarea tranzistorului bipolar în conexiune emitor comun

Pe baza fişei tehnologice de mai jos, realizează practic un preamplificator de microfon.

Schema electrică	Schema cablajului imprimat
	

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico - materială			Auto evaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
1.	Citirea schemei electronice, precizând tipurile de componente utilizate					
2.	Selectarea componentelor electronice, conform specificaţiilor schemei electronice		multimetru	tranzistor (EFT323-353), rezistori*: $R_1 = 150\ k\Omega$, $R_2 = 36\ k\Omega$, $R_3 = 10\ k\Omega$, $R_4 = 30\ k\Omega$, $R_5 = 10\ k\Omega$ Condensatoare **$C_1 = 20\ \mu F$, $C_2 = 50\ \mu F$, $C_3 = 20\ \mu F$, sursa de alimentare: $E_c = -4{,}5\ V$, placa cablată cu cupru, conductoare de legătură.		
3.	Precizarea parametrilor specifici şi a valorilor limită de utilizare pe baza cataloagelor de componente		multimetru	tranzistor, rezistori, condensatoare, cataloage de componente.		
4.	Proiectarea cablajului imprimat			calc milimetric, creoin.		
5.	Realizarea cablajului imprimat	cuva, maşina de găurit		placa cablata cu cupru, marker, clorura ferică, apa pentru spălat placa.		

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Operaţii (faze) tehnologice	Baza tehnico - materială			Auto evaluare	Evaluare
		SDV-uri	AMC-uri	Materiale		
6.	Identificarea poziţiei componentelor pe cablajul imprimat conform documentaţiei tehnice			tranzistor, rezistori, condensatoare sursa de alimentare, placa cablata cu cupru, conductoare de legătură.		
7.	Executarea preformării terminalelor componentelor, conform cerinţelor tehnologice de plantare manuală	pensetă cleşti		tranzistor, rezistori, condensatoare, conductoare de legătură.		
8.	Efectuarea plantării manuale, conform standardelor de calitate impuse	pensetă cleşti dispozitiv de lipit		tranzistor, rezistori, condensatoare , sursa de alimentare, placa cablata cu cupru, conductoare de legătură.		
9.	Aplicarea semnalului de intrare***	generator de semnal	multimetru/ osciloscop	montaj		
10.	Măsurarea tensiunii de intrare	generator de semnal	multimetru/ osciloscop	montaj, fişa de lucru.		
11.	Măsurarea tensiunii de ieşire	generator de semnal	multimetru/ osciloscop	montaj, fişa de lucru.		
12.	Calcularea amplificării			fişa de lucru		
13.	Interpretarea rezultatelor			fişa de lucru		

* Toate rezistoarele au puterea disipată de 0,1 – 0,5 W.
** Condensatoarele sunt electrolitice şi au tensiune mai mare de 5 V.
*** Semnalul aplicat la intrare trebuie să fie maxim 30 mV, în caz contrar apar distorsiuni mari.

PROIECT

Tema: Sistem de alarmă sonoră

Resursele necesare: Tranzistor, rezistori, condenstoare, difuzor, contacte, sursa de alimentare, placa cablata cu cupru, conductoare de legătură, SDV-uri şi AMC-uri din laboratorul/atelierul de elctronică.

Structura proiectului:

- Pagina de titlu (tema, autorii/autorul, clasa, şcoala, perioada de elaborare)
- Cuprinsul (titlurile capitolelor, subcapitolelor, subtemelor etc.)
- Argumentul
- Dezvoltarea elementelor de conţinut
- Concluzii (elemente de referinţă desprinse din studiul temei)
- Bibliografia
- Anexa (toate materialele importante rezultate)

Implementarea proiectului

Implementarea proiectului presupune:

- descrierea funcţionării circuitului;
- realizarea practică a montajului;
- verificarea funcţionării montajului;

Scanned with OKEN Scanner

- tehnorectactarea proiectui;
- susținerea proiectului.

Organizare: Activitatea se va desfășura pe echipe de câte 4 elevi.

Etape:

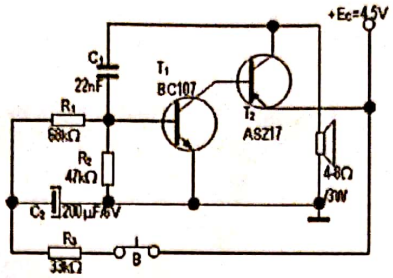


Fig. 6.94

a. Proiectează un sistem de alarmă sonoră sau caută o schemă cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, internet etc.). În figura 6.94 este ilustrat un exemplu.
b. Analizează schema propusă și explică funcționarea circuitului.
c. Realizează montajul pe un cablaj imprimat.
d. Alimentează montajul și verifică funcționalitatea circuitului.
e. Tehnoredactează proiectul.

Studiu de caz

Identificarea tipurilor constructive de amplificatoare

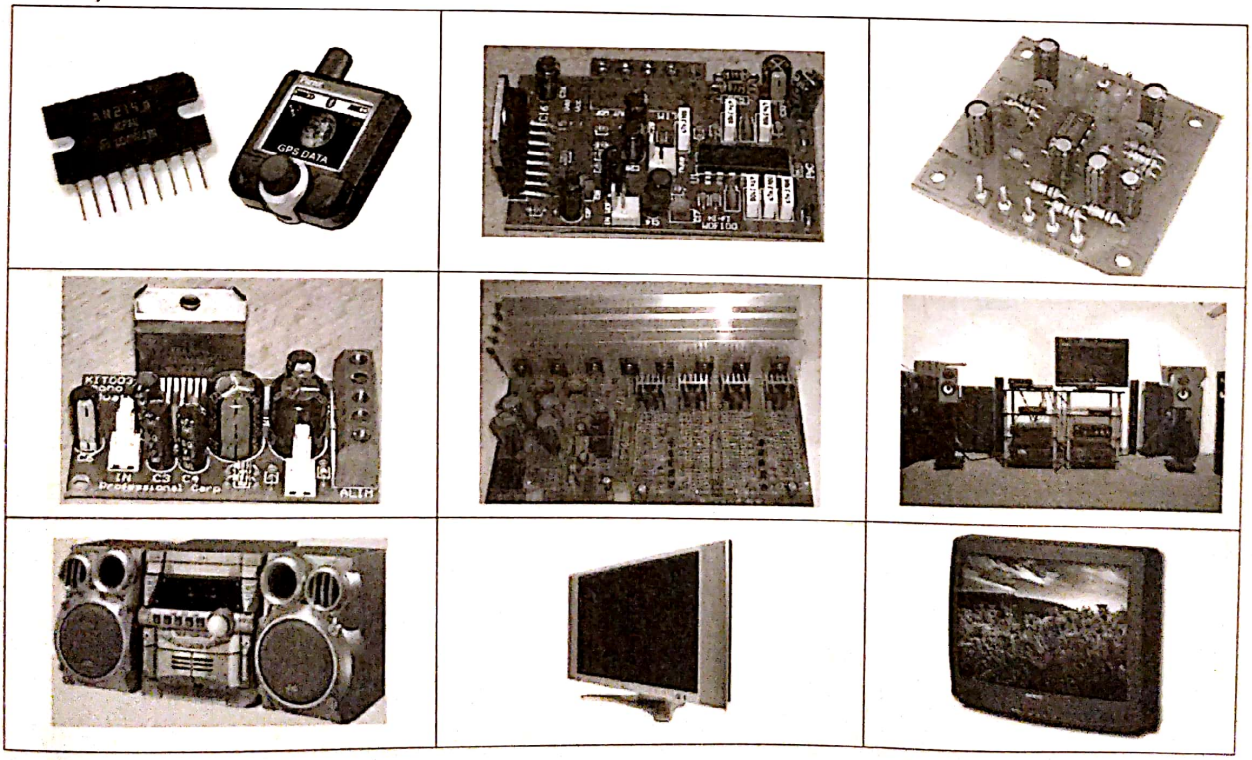
Acasă avem foarte multe amplificatoare și zilnic interacționăm cu ele. Cele mai folosite aparate electronice din lume – televizorul și radioul – au în componența lor și amplificatoare. Acestea măresc semnalele mici primite prin cablu sau antene, până la un nivel optim audiției sau vizionării.

În laboratorul de electronică, în atelier sau acasa la tine, identifică, cu ajutorul diferitelor surse de informare (foi de catalog, publicații de specialitate, Internet etc.), diferite tipuri constructive de amplificatoare.

Analizează fiecare dispozitiv.

Compară dispozitivele analizate.

Exemple:

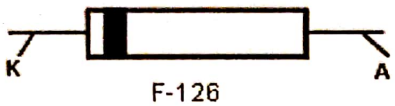


ANEXE

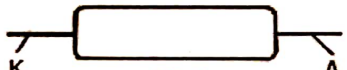
Scanned with OKEN Scanner

Anexa 1 DIODE SEMICONDUCTOARE

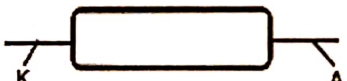
I. Diode redresoare

1N 4001 ÷ 1N 4007 diode redresoare cu siliciu de mică putere					
Configurația terminalelor	Valori limită absolute				
 F-126		I_0 [A]	I_{FRM} [A]	V_{RRM} [V]	V_F [V]
	1N4001	1	10	50	1
	1N4007	1	10	1000	1

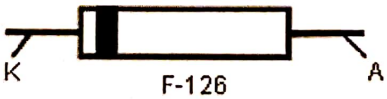
II. Diode cu contact punctiform

EFD 108 diode cu germaniu cu contact punctiform				
Configurația terminalelor	Valori limită absolute			
 DO-7	I_0 [mA]	I_{FM} [mA]	V_R [V]	V_F [V]
	30	90	100	1

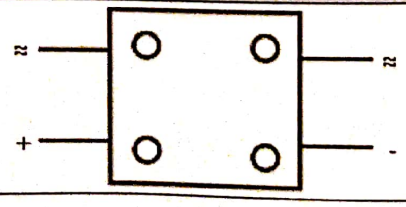
III. Diode de comutație

1N 4148 diode cu siliciu de comutație				
Configurația terminalelor	Valori limită absolute			
 DO-35	I_F [mA]	V_R [V]	V_F [V]	C_{tot} [pF]
	200	75	1	4

IV. Diode stabilizatoare de tensiune

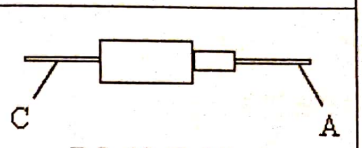
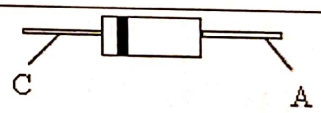
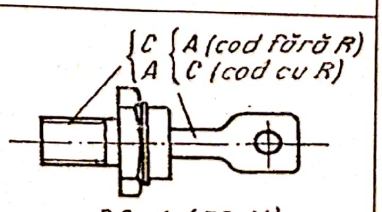
PL 5V1 Z, PL 7V5 Z diode Zener de 1 W						
Configurația terminalelor	Valori limită absolute					
 F-126		V_Z [V]			I_Z [mA]	I_{ZM} [mA]
		min	nom	max		
	PL5V1Z	4,8	5,1	5,4	100	185
	PL7V5Z	7	7,5	7,9	100	130

Anexa 2 PUNȚI REDRESOARE

1 PM 05 punți redresoare monofazate				
Configurația terminalelor	Valori limită absolute			
	V_{RRM} [V]	V_{RSM} [V]	I_d [A]	V_{ef} [V]
	50	100	1,2	35

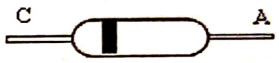
Scanned with OKEN Scanner

Anexa 3 DIODE ZENER (*filă de catalog*)

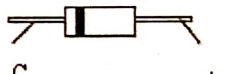
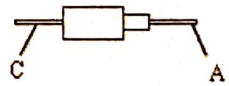
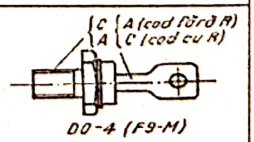
Cod	V_z			I_z	r_z	α_{vz}	I_{zm}	Capsula
	Min.	Nom.	Max.	mA	Ω	10^{-6}/°C	mA	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1N 3016 B	6,4	6,8	7,2	37	3,5	2...6	140	 DO-13 (F-61)
1N 3017 B	7	7,5	7,9	34	4	3...7	130	
1N 3018 B	7,7	8,2	8,7	31	4,5	3,5...7,5	110	
1N 3019 B	8,5	9,1	9,6	28	5	4...8	100	
1N 3020 B	9,4	10	10,6	25	7	4...8	94	
1N 3021 B	10,4	11	11,6	23	8	4...9	86	
1N 3022 B	11,4	12	12,7	21	9	4...9	79	
1N 3023 B	12,4	13	14,1	19	10	4...9	71	
1N 3024 B	13,8	15	15,6	17	14	5...9	64	
1N 3025 B	15,3	16	17,1	15,5	16	5...9	59	
1N 3026 B	16,8	18	19,1	14	20	5...9	59	
1N 3027 B	18,8	20	21,2	12,5	22	5...9	47	
1N 3028 B	20,8	22	23,3	11,5	23	5...9	43	
1N 3029 B	22,8	24	25,6	10,5	25	5...9	39	
1N 3030 B	25,1	27	28,9	9,5	35	5...9	35	
1N 3031 B	28	30	32	8,5	40	5...9	31	
1N 3032 B	31	33	35	7,5	45	5...9	29	
1N 3033 B	34	36	38	7	50	6...10	26	
1N 3034 B	37	39	41	6,5	60	6...10	24	
1N 3035 B	40	43	46	6	70	6...10	22	
1N 3036 B	44	47	50	5,5	80	8...10	20	
1N 3037 B	48	51	54	5	95	8...10	19	
1N 3038 B	52	56	60	4,5	110	9...10	17	
1N 3039 B	58	62	66	4	125	9...10	15	
1N 3040 B	64	68	72	3,7	150	9...10	14	
PL 3V3Z	3,1	3,3	3,5	100	10	−6	285	 F-126
PL 3V6Z	3,4	3,6	3,8	„	„	−5,5	260	
PL 3V9Z	3,7	3,9	4,1	„	7	−5	240	
PL 4V3Z	4	4,3	4,6	„	„	−4	215	
PL 4V7Z	4,4	4,7	5	„	„	−2	200	
PL 5V1Z	4,8	5,1	5,4	„	5	1	185	
PL 5V6Z	5,2	5,6	6	„	2	2,5	165	
PL 6V2Z	5,8	6,2	6,6	„	„	3,2	150	
PL 7V5Z	7	7,5	7,9	„	„	4,5	130	
PL 10 Z	9,4	10	10,6	„	„	5,5	94	
PL 11 Z	10,4	11	11,6	„	7	6	86	
PL 12 Z	11,4	12	12,7	„	„	6,5	79	
PL 13 Z	12,4	13	14,1	„	10	6,5	71	
PL 15 Z	13,8	15	15,6	„	„	7	64	
4 DZ 10	9	10	11	250	2,4	5,5	350	 DO-4 (F9-M)
4 DZ 12	10,5	12	13,5	210	3,2	6,5	300	
4 DZ 15	13	15	16,5	170	4,5	7	250	
4 DZ 100	90	100	110	25	96	9	35	

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 4 DIODE VARICAP (*filă de catalog*)

Cod	Valori limită absolute				Caracteristici electrice					Capsulă
	V_R [V]	T_j [°C]	C_{tot} [pF]	V_{R1} [V]	C_{tot} [pF]	V_{R2} [V]	C_{tot} [V_{R2}]/ C_{tot} [V_{R1}]/	I_R [μA]	V_R [V]	
BB 121	30	150	1,96…2,65	25	–	3	4,5…6	0,1	28	 DO- 35 (F-80)/Sticlă
BB 122	30	150	2,1…2,8	25	–	3	4,5…6	0,1	28	
BB 125	30	150	2…3	25	12	3	4…5	1	28	
BA 110	30	150	6,8	10	10	2	0,5…1,2	50	10	DO-7 (F-2) / Sticlă
BA 111	20	150	34,7	10	55	2	0,5…1,2	100	10	
BA 112	20	150	63	10	100	2	0,5…1,2	200	10	
BA 124	30	150	20	25	66	2	0,98…1,03	15	10	

Anexa 5 DIODE REDRESOARE (*filă de catalog*)

Cod	I_F [A]	T_{amb} [°C]	I_o [A]	T_{amb} [°C]	$V_{RRM} = V_R$ [V]	I_{FRM} [A]	I_{FSM} (10 ms) [A]	V_F [V]	I_F [A]	I_R [mA]	T_{amb} [°C]	t_{rr} [ns]	Capsulă
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1N 4001	1,15	75	1	75	50	10	30	1,1	1	0,05	100	–	 F-126
1N 4002	1,15	75	1	75	100	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
1N 4003	1,15	75	1	75	200	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
1N 4004	1,15	75	1	75	400	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
1N 4005	1,15	75	1	75	600	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
1N 4006	1,15	75	1	75	800	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
1N 4007	1,15	75	1	75	1000	10	30	1,1	1	0,05	100	–	
F 102	2,4	25	2	25	100	6,5	70	1,2	2	1	150	–	 DO-13 (F-61)
F 202	2,4	25	2	25	200	6,5	70	1,2	2	1	150	–	
F 402	2,4	25	2	25	400	6,5	70	1,2	2	1	150	–	
F 602	2,4	25	2	25	600	6,5	70	1,2	2	1	150	–	
F 802	2,4	25	2	25	800	6,5	70	1,2	2	1	150	–	
6 DRR1	6,5	100	6	100	100	20	75	1,4	6	0,015	25	350	 DO-4 (F9-M)
6 DRR2	6,5	100	6	100	200	20	75	1,4	6	0,015	25	350	
6 Si 05I	6,8	125	6	125	50	20	160	1,2	20	3	125	–	
6 Si 1I	6,8	125	6	125	100	20	160	1,2	20	3	125	–	
6 Si 2I	6,8	125	6	125	200	20	160	1,2	20	3	125	–	

Scanned with OKEN Scanner

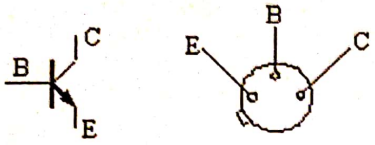
Anexa 6 TRANZISTOARE *pn* (*filă de catalog*)

Cod	Structură	Carcasă	$I_{C\,max}$	$U_{CE\,max}$	$h_{FE\,min}$	$P_{tot\,max}$	Utilizări tipice	Înlocuitor posibil
BC107	*npn*	TO18	100 mA	45 V	110	300 mW	audio, putere mică	BC182 BC547
BC108	*npn*	TO18	100 mA	20 V	110	300 mW	uz general, putere mică	BC108C BC183 BC548
BC108C	*npn*	TO18	100 mA	20 V	420	600 mW	uz general, putere mică	
BC109	*npn*	TO18	200 mA	20 V	200	300 mW	audio (zgomot redus), putere mică	BC184 BC549
BC182	*npn*	TO92C	100 mA	50 V	100	350 mW	uz general, putere mică	BC107 BC182L
BC182L	*npn*	TO92A	100 mA	50 V	100	350 mW	uz general, putere mică	BC107 BC182
BC547B	*npn*	TO92C	100 mA	45 V	200	500 mW	audio, putere mică	BC107B
BC548B	*npn*	TO92C	100 mA	30 V	220	500 mW	uz general, putere mică	BC108B
BC549B	*npn*	TO92C	100 mA	30 V	240	625 mW	audio (zgomot redus), putere mică	BC109
2N3053	*npn*	TO39	700 mA	40 V	50	500 mW	uz general, putere mică	BFY51
BFY51	*npn*	TO39	1 A	30 V	40	800 mW	uz general, putere medie	BC639
BC639	*npn*	TO92A	1 A	80 V	40	800 mW	uz general, putere medie	BFY51
TIP29A	*npn*	TO220	1 A	60V	40	30 W	uz general, putere mare	
TIP31A	*npn*	TO220	3 A	60 V	10	40 W	uz general, putere mare	TIP31C TIP41A
TIP31C	*npn*	TO220	3 A	100 V	10	40 W	uz general, putere mare	TIP31A TIP41A
TIP41A	*npn*	TO220	6 A	60 V	15	65 W	uz general, putere mare	
2N3055	*npn*	TO3	15 A	60 V	20	117 W	uz general, putere mare	
BC177	*pnp*	TO18	100 mA	45 V	125	300 mW	audio, putere mică	BC477
BC178	*pnp*	TO18	200 mA	25 V	120	600 mW	uz general, putere mică	BC478
BC477	*pnp*	TO18	150 mA	80 V	125	360 mW	audio (zgomot redus), putere mică	BC177
BC478	*pnp*	TO18	150 mA	40 V	125	360 mW	uz general, putere mică	BC178
TIP32A	*pnp*	TO220	3 A	60V	25	40 W	uz general, putere mare	TIP32C
TIP32C	*pnp*	TO220	3 A	100V	10	40 W	uz general, putere mare	TIP32A

Scanned with OKEN Scanner

Anexa 7 TRANZISTORE (*extras din foile de catalog*)

BC 107, BC 108, BC 109, BC 190 – Tranzistoare *npn* cu siliciu de joasă frecvență



Capsulă: T018

VALORI LIMITĂ ABSOLUTĂ		BC 107	BC 108	BC 109	BC 190
U_{CB0}	Tensiune colector-bază ($I_E = 0$)	50 V	30 V	30 V	70 V
U_{CE0}	Tensiune colector-emitor ($I_B = 0$)	45 V	20 V	20 V	64 V
U_{EB0}	Tensiune emitor-bază ($I_C = 0$)	6 V			
I_C	Curent de colector	100 mA			
I_{CM}	Curent maxim de colector	200 mA			
I_B	Curent de bază	50 mA			
P_{tot}	Putere totală disipată ($T_A \leq 25$ °C)	300 mW			
T_{JM}	Temperatura maximă a joncțiunii	175 °C			
T_S	Domeniul temperaturilor de stocare	– 55 ... + 175 °C			
CARACTERISTICI TERMICE					
R_{thJ-A}	Rezistența termică joncțiune – ambiant	Max. 500 °C/W			
R_{thJ-C}	Rezistența termică joncțiune – capsulă	Max. 200 °C/W			

CARACTERISTICI ELECTRICE ($T_0 = 25$ °C)

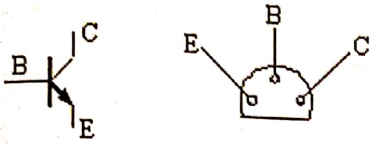
Parametru		Minim	Tipic	Maxim	Unitate
I_{CB0}	Curentul rezidual colector-bază			15	µA
$U_{(BR)CE0}$	Tensiune de străpungere colector-emitor $I_C = 2$ mA BC 108, BC 109 BC 107 BC 190	 20 45 64			 V V V
$U_{(BR)EB0}$	Tensiune de străpungere emitor-bază	6			V
U_{CEsat}	Tensiune de saturație $I_C = 10$ mA colector-emitor $I_C = 100$ mA			250 600	V V
U_{BEon}	Tensiune bază-emitor $I_C = 2$ mA, $U_{CE} = 5$ V	550		700	mV
h_{ef}	Factor de amplificare în curent continuu $I_C = 10$ µA, $U_{CE} = 5$ V $I_C = 2$ mA, $U_{CE} = 5$ V	40		 800	– –
F_T	Frecvența de tranziție $I_C = 0{,}5$ mA, $U_{CE} = 5$V, $f = 30$ MHz $I_C = 2$ mA, $U_{CE} = 5$V, $f = 100$ MHz			85 300	MHz MHz

CARACTERISTICI DE CUADRIPOL – Configurația emitor comun, $I_C = 2$ mA, $U_{CE} = 5$ V, $f = 1$ kHz

Parametru		Minim	Tipic	Maxim	Unitate
$h_{ie}(h_{11e})$	Rezistența de intrare	1,6		15	kΩ
$h_{oe}(h_{22e})$	Conductanța de ieșire	1,6		15	kΩ
$h_{fe}(h_{21e})$	Factor de amplificare în curent alternativ	125		900	

Scanned with OKEN Scanner

BC 170 – Tranzistoare *npn* cu siliciu de joasă frecvență

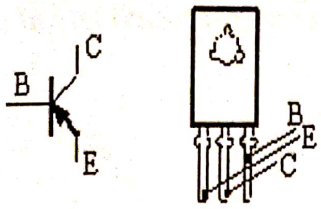


Capsulă: TO92

	VALORI LIMITĂ ABSOLUTĂ				
U_{CE0}	Tensiune colector-emitor ($I_B = 0$)	20 V			
U_{EB0}	Tensiune emitor-bază ($I_C = 0$)	5 V			
I_{CM}	Curent maxim de colector	100 mA			
I_B	Curent maxim de bază	20 mA			
P_{tot}	Putere totală disipată ($T_A \leq 25$ °C)	300 mW			
T_{JM}	Temperatura maximă a joncțiunii	150 °C			
Ts	Domeniul temperaturilor de stocare	– 55 … + 150 °C			
CARACTERISTICI TERMICE					
R_{thJ-A}	Rezistența termică joncțiune – ambiant	Max. 500 °C/W			
CARACTERISTICI ELECTRICE ($T_0 = 25$ °C)					
	Parametru	Minim	Tipic	Maxim	Unitate
I_{CB0}	Curentul rezidual colector-bază			100	nA
I_{CE0}	Curentul rezidual colector-emitor			1,2	µA
$U_{(BR)CE0}$	Tensiune de străpungere colector-emitor $I_C = 2$ mA	20			V
$U_{(BR)EB0}$	Tensiune de străpungere emitor-bază $I_E = 1$µA	5			V
U_{CEsat}	Tensiune de saturație colector-emitor			400	mV
h_{ef}	Factor de amplificare în curent continuu $I_C = 10$ µA, $U_{CE} = 5$ V $I_C = 2$ mA, $U_{CE} = 5$ V	35		 600	– –
F_T	Frecvența de tranziție $I_C = 10$ mA, $U_{CE} = 5$ V, $f = 100$ MHz	85			MHz

Scanned with OKEN Scanner

BD 135, BD 137, BD 139 – Tranzistoare *npn* cu siliciu de medie putere



Capsulă: TO126

VALORI LIMITĂ ABSOLUTĂ		BD 135	BD 137	BD 139
U_{CE0}	Tensiune colector-emitor ($I_B = 0$)	45 V	60 V	80 V
U_{CE0}	Tensiune colector-emitor ($I_B = 0$)	45 V	60 V	80 V
U_{EB0}	Tensiune emitor-bază ($I_C = 0$)	5 V		
I_{CM}	Curent maxim de colector	1,5 A		
$-I_B$	Curent de bază	100 mA		
P_{tot}	Putere totală disipată ($T_A \leq 25$ °C)	12,5 W		
T_{JM}	Temperatura maximă a joncțiunii	125 °C		
Ts	Domeniul temperaturilor de stocare	– 55 ...+125 °C		
CARACTERISTICI TERMICE				
R_{thJ-A}	Rezistența termică joncțiune – ambiant	Max. 100 °C/W		

CARACTERISTICI ELECTRICE (T_0 = 25 °C)

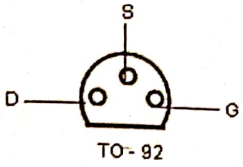
Parametru			Minim	Tipic	Maxim	Unitate
I_{CB0}	Curentul rezidual colector-bază				100	nA
I_{CE0}	Curentul rezidual colector-emitor				1	µA
$U_{(BR)CE0}$	Tensiune de străpungere colector-bază I_C = 1 mA	BD 135 BD 137 BD 139	 45 60 80			 V V V
$U_{(BR)CE0}$	Tensiune de străpungere colector-emitor I_C = 20 mA	BD 135 BD 137 BD 139	 45 60 80			 V V V
$U_{(BR)EB0}$	Tensiune de străpungere emitor-bază I_E = 1µA		 5			 V
$U_{(BR)Eon}$	Tensiune de străpungere emitor-bază		6			V
U_{CEsat}	Tensiune de saturație colector-emitor	I_C = 500 mA			600	mV
U_{BEon}	Tensiune bază-emitor	I_C = 500 mA I_B = 50 mA			1,2	V
h_{ef}	Factor de amplificare în curent continuu I_C = 500 mA, U_{CE} = 2 V I_C = 150 mA, U_{CE} = 2 V		25		 300	– –
F_T	Frecvența de tranziție I_C = 50 mA, – U_{CE} = 5 V, f = 30 Hz		50			MHz

***Notă**: Datele din aceste tabele sunt culese din diferite cataloage și sunt ilustrative.*
În cazul proiectării circuitelor electronice, este recomandată consultarea cataloagelor.

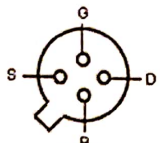
Scanned with OKEN Scanner

Anexa 8 TRANZISTORE CU EFECT DE CÂMP (*filă de catalog*)

BF 245 tranzistor cu grilă joncțiune, cu canal *n*, de mică putere

Configurația terminalelor	Valori limită absolute					
	U_{DGM} [V]	U_{DSM} [V]	U_{GSM} [V]	I_{GM} [mA]	P_{tot} [mW]	T_j [°C]
 TO - 92	45	± 30	– 30	10	200	125

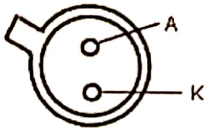
ROS 02 tranzistor cu grilă izolată, cu canal inițial *n*, de mică putere

Configurația terminalelor	Valori limită absolute				
	U_{DSM} [V]	U_{GSM} [V]	U_{GB} [V]	I_{DM} [mA]	P_{tot} [mW]
 TO - 72	30	40	– 30 ÷ 40	30	200

Anexa 9 DISPOZITIVE OPTOELECTRONICE

Fotodiode

R OL 21 fotodiodă planară cu siliciu

Configurația terminalelor	Valori limită absolute
 TO – 18 / SL 10 008	• Tensiunea inversă $U_{R\,max} = 75$ V • Curentul de întuneric $I_D = 20$ nA la $U_R = 50$ V • Sensibilitatea $S = 30$ nA / lx • Fotocurentul $I_L = 30$ µA la $U_R = 50$ V • Puterea $P_{tot} = 200$ mW

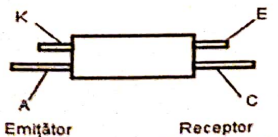
Fototranzistoare

MDR 4213 – 11 C fototranzistoare *npn* cu siliciu

Configurația terminalelor	Valori limită absolute la T = 25° C
Capsula are două terminale, emitorul fiind terminalul cel mai scurt.	• Tensiunea colector-emitor $U_{CE\,max} = 32$ V • Curentul de colector maxim $I_{C\,max} = 50$ mA • Puterea disipată maximă $P_{tot} = 200$ mW

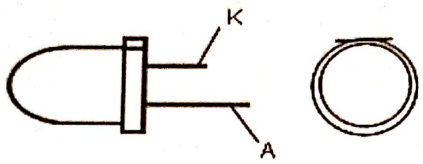
Optocuploare

MDC 1111 – 03 optocuploare cu izolare galvanică

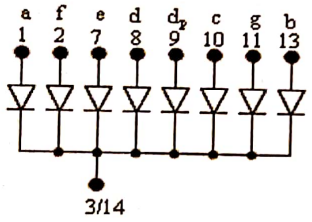
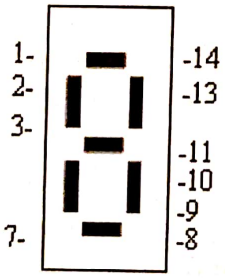
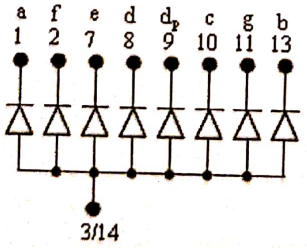
Configurația terminalelor	Valori limită absolute la T = 25 °C		
	Emițător	Receptor	Optocuplor
 Emițător (LED) Receptor (fototranzistor)	• Curentul direct maxim $I_F = 50$ mA • Tensiunea inversă maximă $U_R = 5$ V • Puterea maximă disipată $P_{tot} = 150$ mW	• Curentul maxim de colector $I_C = 50$ mA • $P_{tot} = 100$ mW	• Curentul de colector (la $I_F = 50$ mA și $V_{CEO} = 10$ V): $I_{C\,min} = 7$ mA, $I_{C\,max} = 10$ mA • Capacitatea de cuplare $C_0 = 0{,}3$ pF • Temperatura de lucru $T = -25 \div 70$ °C

Scanned with OKEN Scanner

Diode electroluminiscente (LED-uri)

MDE 1101 R diode electroluminiscente standard	
Configurația terminalelor	**Valori limită absolute**
	• Puterea maximă disipată $P_{tot} = 150$ mW • Curentul direct maxim $I_F = 50$ mA • Temperatura de lucru $T = -25 \div 70$ °C

Display-uri

MDE 2101 R display-uri de 1 digit cu 7 segmente și punct zecimal	
Configurația terminalelor	**Valori limită absolute**
• Catod comun   • Catod comun 	• Puterea maximă disipată de fiecare segment sau punct zecimal $P_{tot} = 500$ mW • Curentul direct maxim pentru un segment sau punct zecimal $I_F = 20$ mA • Temperatura de lucru $T = -25 \div 70$ °C

Scanned with OKEN Scanner

Bibliografie

1. Antoniu, M., *Măsurări electronice*, Editura Satya, Iaşi, 2002
2. Băjeu, G., *Generatoare de semnale sinusoidale*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1979
3. Bulucea, C., *Circuite integrate liniare*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975
4. Ciugudean, M., *Circuite integrate liniare*, Editura Facla, Timişoara, 1986
5. Chivu, A., Cosma, D., *Componente şi circuite electronice – Teste pentru examenul naţional de bacalaureat şi olimpiadele interdisciplinare tehnice*, Editura Economică, Bucureşti 2001
6. Chivu, A., Cosma, D., *Electronică analogică. Electronică digitală – Lucrări practice*, Editura ARVES, Craiova, 2005
7. Constantin P., *Tranzistoare unijoncţiune. Aplicaţii*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1976
8. Cosma D., Mareş Fl., Chivu A., Danielescu G.M., Văidăhăzan I., *Teste şi probleme pentru bacalaureat şi olimpiade – electrotehnică şi electronică*, Editura ARVES, Craiova, 2006
9. Cosma D., Mareş Fl., Chivu A., Danielescu G.M., Văidăhăzan I., *Teste şi probleme – electrotehnică şi electronică*, Editura ARVES, Craiova 2007
10. Cosma, D., Chivu, A., Cosma, C.D., Chivu, A.M., *Componente şi circuite electronice – Lucrări practice*, Editura Arves, Craiova, 2008
11. Cosma, D., Mareş, F., Dick, D., Chivu, A., *Electronică – Tehnologii şi măsurări*, Editura CD PRESS, Bucureşti, 2008
12. Damachi, E., *Dispozitive semiconductoare multijoncţiune*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1980
13. Dancea, I., *Calculatoare electronice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975
14. Dănilă, Th., *Dispozitive şi circuite electronice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982
15. Drăgulănescu, N., Miroiu, C., Moraru, D., *A,B,C ... Electronica în imagini. Componente pasive*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1990
16. Drăgulescu, N., *Agenda radioelectronistului*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1983
17. Feier, I., *Dioda Zenner. Aplicaţii*, Editura Tehnică, Bucureşti 1975
18. Florea, S., *Electronică industrială şi automatizări*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980
19. Găzdaru, C. ş.a., *Îndrumar pentru electronişti*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1986
20. Gheorghiu, A., Spânulescu, I., *Măsurări electronice*, Editura Victor, Bucureşti, 2002
21. Huţanu, C., *Circuite logice şi comenzi secvenţiale*, Editura Junimea, Iaşi, 1983
22. Iosif, N., *Tiristoare şi module de putere. Catalog*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1984
23. Lăzăroiu, I., *Calculatoare electronice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1992
24. Loveday, G., *Defecte electronice. Manual de diagnosticare*, Editura Teora, 2001
25. Mitofan, Gh., *Generatoare de impulsuri şi de tensiune liniar variabilă*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1980
26. Mitofan, Gh., *Generatoare de funcţii*, Editura Teora, 1999
27. Petru, A., *Diode cu siliciu. Catalog*
28. Popescu, V., *Electronică de putere*, Editura de Vest, Timişoara, 1998
29. Râpeanu, R., *Circuite integrate analogice*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987
30. Vasilescu, G., *Electronică*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981
31. Vătăşescu, A., ş.a., *Dispozitive semiconductoare – Manual de utilizare*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975
32. *** *Cataloage de condensatoare*
33. *** *Cataloage de rezistoare*
34. *** *Cataloage de circuite integrate*
35. *** *Cataloage de dispozitive optoelectronice*

Scanned with OKEN Scanner